

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

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси»

№ 52(1161)2015

Збірник наукових праць

Видання засноване в 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2015

Вісник Національного технічного університету «ХПІ».Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ „ХПІ” – 2015р. - №52(1161) – 186 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ №5256 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 Постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р., № 1 – 05/4 (Бюлетень ВАК України, № 6, 2010 р., с. 3, № 20).

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. Грабчснко, 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. Пуляев, 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: Пензев 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, Доценко Ю. В., канд. техн. наук, НМетАУ, Дніпропетровськ, 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, Погрібний М. А., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Пономаренко О. І., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Селівьорстов В. Ю., НМетАУ, Дніпропетровськ, 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, Старооскольський технологічний інститут – філія Національного дослідницького технологічного інституту «Московський інститут сталі і сплавів», Росія

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ”

Протокол №12 від «25» грудня 2015 р.

©Національний технічний університет „ХПІ”, 2015

УДК 539.3

Б. Э. ИСАЛЫ, Р. Э. МАМЕДЛИ

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ТРЕХСЛОЙНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ СТЕРЖНЕЙ В НЕЛИНЕЙНО УПРУГОЙ СРЕДЕ

В статье исследуется задача устойчивости трехслойных неоднородных прямолинейных стержней на нелинейно упругом основании под действием сжимающих нагрузок. Здесь предполагается, что стержень находится в неравномерном температурном поле и модули упругости материала слоев зависят от температуры. Для упругого основания принимается нелинейная модель и предполагается, что гипотеза плоских сечений справедлива для всей толщины элемента стержня. В общем виде получено уравнение устойчивости рассматриваемого стержня и для конкретного случая найдена формула для определения критической нагрузки.

Ключевые слова: трехслойный неоднородный стержень, температура, устойчивость, критическая нагрузка.

Введение. Однослойные и многослойные стержни часто используются в качестве несущих элементов во многих сложных конструкциях, работающих в различных режимах нагружения. Такие конструкции в некоторых случаях находятся на нелинейно упругом основании и в неравномерном температурном поле.

В работах [1-4] исследованы устойчивость однослойных и многослойных стержней при нормальной температуре и под действием высокой температуры.

В данной работе исследуется задача устойчивости двухслойных неоднородных стержней, которые находятся в неравномерном температурном поле и на нелинейно упругом основании.

Постановка задачи. Рассмотрим устойчивость трехслойного неоднородного стержня на нелинейно упругом основании, имеющей две оси симметрии поперечного сечения, сжимаемого по концам силами P при неравномерном нагреве.

Координатная система выбрана следующим образом: оси OY и OZ находятся в поперечном сечении стержня; ось OX – направлена по оси стержня.

Здесь предполагается, что температура в каждом слое является функцией координаты толщины (т. е. $T_i = T_i(z)$).

Слои стержня изготовлены из различных неоднородных материалов, и модули упругости зависят от координат и температуры следующим образом:

$$E_i = E_i(X, Z, T(z)) = E_i \times f_i(x) \times \varphi_i(z) \times \frac{T(z)}{T_0},$$

$$(i = 0, 1, 2)$$

В возмущенном состоянии стержня связь между приращениями напряжений и деформаций будет иметь вид:

$$\Delta \sigma' = E_{10} f_1(x) \varphi_1(z) T'(z) \Delta \varepsilon,$$

$$\left(-h_1 - \frac{h}{2} \leq z \leq -\frac{h}{2}\right), \quad \left(-\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2}\right) \quad (2)$$

$$\Delta \sigma^2 = E_{20} f_2(x) \varphi_2(z) T'(z) \Delta \varepsilon,$$

$$\left(\frac{h}{2} \leq z \leq \frac{h}{2} + h_2\right) \quad (T' = T/T_0)$$

здесь h_1, h, h_2 – толщины соответствующих слоев. Предположим, что гипотеза плоских сечений справедлива для всей толщины стержня т.е.

$$\Delta \varepsilon = e_0 + z \alpha \quad (3)$$

Здесь e_0 – дополнительная деформация оси стержня, α – кривизна центральной линии.

В этом случае приращение усилий и момента определяются по формулам:

$$\Delta P = \int_{-\frac{h}{2}-h_1}^{-h/2} \Delta \sigma^1 b(z) dz + \int_{-\frac{h}{2}}^{h/2} \Delta \sigma b(z) dz + \int_{h/2}^{\frac{h}{2}+h_2} \Delta \sigma^2 b(z) dz, \quad (4)$$

$$\Delta M = \int_{-\frac{h}{2}-h_1}^{-h/2} \Delta \sigma^1 z b(z) dz + \int_{-\frac{h}{2}}^{h/2} \Delta \sigma z b(z) dz +$$

$$+ \int_{h/2}^{\frac{h}{2}+h_2} \Delta \sigma^2 z b(z) dz$$

де $b(z)$ – ширина поперечного сечения стержня.

С учетом (1)-(3) из (4) находим:

$$\Delta P = E_0 f(x) \left[e \left(e_{10} \gamma_1 S_1^0 + S^0 + e_{20} \gamma_2 S_2^0 \right) + \alpha \left(e_{10} \gamma_1 S_1^1 + S^1 + e_{20} \gamma_2 S_2^1 \right) \right], \quad (5)$$

$$\Delta M = E_0 f(x) \left[e \left(e_{10} \gamma_1 S_1^1 + S^1 + e_{20} \gamma_2 S_2^1 \right) + \alpha \left(e_{10} \gamma_1 S_1^2 + S^2 + e_{20} \gamma_2 S_2^2 \right) \right] \quad (6)$$

В этих формулах введены следующие обозначения:

$$S_1^i = \int_{-\frac{h}{2}-h_1}^{-h/2} \varphi_1(z) T'(z) b(z) z^i dz$$

$$S^i = \int_{-\frac{h}{2}}^{h/2} \varphi(z) T'(z) b(z) z^i dz \dots$$

$$S_2^i = \int_{h/2}^{\frac{h}{2}+h_2} \varphi_2(z) T'(z) b(z) z^i dz. \quad (7)$$

$$e_{10} = \frac{E_{10}}{E_0}, e_{20} = \frac{E_{20}}{E_0}, \gamma_1 = \frac{f_1(x)}{f(x)}, \gamma_2 = \frac{f_2(x)}{f(x)} \dots$$

Получение уравнения устойчивости. Уравнения равновесия рассматриваемого стержня имеет вид:

$$\Delta P = 0, \quad \frac{d^2}{dx^2} (\Delta M) + P \frac{d^2 w}{dx^2} + C_0 W + C_1 W^3 = 0 \quad (8)$$

Здесь c, c_1 – коэффициенты постели основания, w – прогиб стержня.

С учетом (5) из первого уравнения системы (7) получим:

$$e = \frac{(e_{10}\gamma_1 S_1^1 + S^1 + e_{20}\gamma_2 S_2^1)^2}{(e_{10}\gamma_1 S_1^0 + S^0 + e_{20}\gamma_2 S_2^0)^2} \quad (9)$$

С учетом (8) из (5) для приращения момента получим следующее выражение:

$$\Delta M = \Delta K E \cdot f_0 x \quad (10)$$

где обозначено:

$$KI = (e_{10}\gamma_1 S_1^2 + S^2 + e_{20}\gamma_2 S_2^2) - \frac{(e_{10}\gamma_1 S_1^1 + S^1 + e_{20}\gamma_2 S_2^1)^2}{(e_{10}\gamma_1 S_1^0 + S^0 + e_{20}\gamma_2 S_2^0)^2} = 0.$$

Учитывая, что $\varepsilon = \frac{d^2 u}{dx^2}$, из второго уравнения системы (8) с учетом (10) получим:

$$KI \frac{d^4 u}{dx^4} \left[f(x) \frac{d^2 u}{dx^2} \right] + P \frac{d^2 u}{dx^2} + c_0 u + c_1 u^3 = 0 \quad (12)$$

Таким образом, уравнение устойчивости рассматриваемого стержня получено в виде (12).

Решение задачи. Для решения конкретных задач необходимо задавать вид зависимости модулей упругости от координат. Рассмотрим случай когда модули упругости не зависят от координаты длины (т. е. $f_1(x) = f(x) = f_2(x) = 1$ В этом случае уравнение устойчивости (12) получается в виде:

$$KI \frac{d^4 u}{dx^4} + P \frac{d^2 u}{dx^2} + c_0 u + c_1 u^3 = 0 \quad (13)$$

Рассмотрим шарнирное закрепление концов стержня. В этом случае для прогиба можем принять выражение:

$$u = u_0 \sin \frac{\pi x}{e} \quad (14)$$

Подставляя (14) в (13) и выполняя процедуру Бубнова-Галеркина для определения критической нагрузки получим формулу:

$$P_{cr} = \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^2 KI + \left(\frac{\ell}{\pi} \right)^2 \left(C_0 + \frac{3}{4} C_1 W_0^2 \right) \quad (15)$$

Здесь KI – определяется на основе формулы (11).

Для получения качественных результатов для функций неоднородности и температуры примем следующие выражения:

$$\varphi_1(z) = 1 + \mu_1 \frac{z}{h_1}, \quad \varphi_2(z) = 1 + \mu \frac{z}{h}, \quad \varphi_3(z) = 1 + \mu_2 \frac{z}{h_2},$$

Подставляя выражения (16) в (7) определяется обобщенная жесткость стержня и критическая нагрузка на основе (11) и (15).

При различных значениях параметров произведены численные расчеты и результаты представлены на рис. 1. Здесь пунктирной линией отмечено решение аналогичной задачи при постоянной температуре.

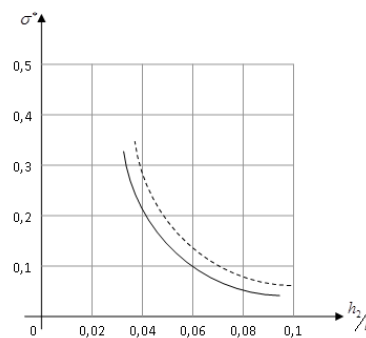


Рис. 1. Зависимость критического напряжения от гибкости стержня

Выводы. Дана постановка и получено решения задачи об устойчивости неоднородного трехслойного стержня в нелинейно упругой среде. Найдена формула для определения критической нагрузки. Анализ численных расчетов показывает что, не учесть неоднородности материала слоев стержня, может привести к существенным погрешностям при определении критических параметров стержня (в некоторых случаях может уменьшить 8-12 %).

Список литературы: 1. Вольмир, А. С. Устойчивость деформируемых систем [Текст] / А. С. Вольмир. – М.: Наука, 1967. – 984 с. 2. Ломакин, В. А. Теория упругости неоднородных тел [Текст] / В. А. Ломакин. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 320 с. 3. Шаповалов, Л. А. Влияние неравномерного нагрева на устойчивость сжатого стержня [Текст] / Л. А. Шаповалов. – ПИММ, 1957. – Т. XXII, Вып. 1. – С. 119–123. 4. Зубчанинов, В. Г. Об упругопластической устойчивости слоистых стержней [Текст] / В. Г. Зубчанинов // Прикладная Механика. – 1970. – Вып. 6, No 2. – С. 127–129. 5. Yang, Y. B. Thermal effect on the Postbuckling Behavior of an elastic or elasto-plastic truss [Text] / Y. B. Yang, T. J. Lin, L. I. Len // Journal of Mechanics. – 2008. – Vol. 134, No 4. – P. 330–338. doi: [10.1061/\(asce\)0733-9399\(2008\)134:4\(330\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(2008)134:4(330)) 6. Amin Heydarpour. Nonlinear Analysis of Composite Beams with Partial Interaction in steel Frame Structures at Elevated Temperature [Text] / Heydarpour Amin, Mark Andrew Bradford // Journal of Structural Engineering. – 2010. – Vol. 136. – P. 968–978. doi: [10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000189](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000189) 7. Voshoughi, A. R. Thermal postbuckling of laminated composite skew plates with temperature-dependent properties [Text] / A. R. Voshoughi, P. Malekzadeh, Mo. R. Banan // J. Thin Walled Structures. – 2011. – Vol. 47, No 7. – P. 804–811. 8. Thuç, P. Vo. Vibration and buckling of composite beams using refined shear deformation theory [Text] / P. Vo. Thuç, Thai Huu-Tai // International Journal of Mechanical Sciences. – 2012. – Vol. 62, No 1. – P. 67–76. doi: [10.1016/j.ijmecsci.2012.06.001](https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2012.06.001) 9. Asadi, H. Large amplitude vibration and post-buckling analysis of variable cross-section composite beams on nonlinear elastic foundation [Text] / H. Asadi, M. M. Aghdam // Intern. Journal of Mechanical Sciences. – 2014. – Vol. 79. – P. 47–55. doi: [10.1016/j.ijmecsci.2013.11.017](https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2013.11.017) 10. Isayev, F. Q. Vibration of non-homogeneous three-layered rods against the effect of thermo-mechanical stress in anisotropic foundation [Text] / F. Q. Isayev, R. E. Memmedli // Journal of Qafqaz University Mechanical and Industrial Engineering. – 2014. – Vol. 2, No 2. – P. 112–117.

Bibliography (transliterated): 1. Vol'mir, A. S. (1967). Ustojchivost' deformiruemykh sistem. M.: Nauka, 984. 2. Lomakin, V. A. (1976). Teoriya uprugosti neodnorodnykh tel. M.: Izd-vo MGU, 320. 3. Shapovalov, L. A. (1957). Vliyanie neravnomernogo nagreva na ustojchivost' szhatoogo sterzhnja, T. XXII, Vyp. 1. PMM, 119–123. 4. Zubchaniinov, V. G. (1970). Ob uprugoplasticheskoj ustojchivosti sloistykh strezhnej. Prikladnaja Mehanika, Vyp. 6, No 2, 127–129. 5. Yang, Y. B., Lin, T. J., Len, L. I. (2008). Thermal effect on the Postbuckling Behavior of an elastic or elasto-plastic truss. Journal of Mechanics, Vol. 134, No 4, 330–338. doi: [10.1061/\(asce\)0733-9399\(2008\)134:4\(330\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(2008)134:4(330)) 6. Amin Heydarpour, Mark Andrew Bradford. (2010). Nonlinear Analysis of Composite Beams with Partial Interaction in steel Frame Structures at Elevated Temperature. Journal of Structural Engineering, Vol. 136, 968–978.

doi: [10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000189](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000189) 7. Voshoughi, A. R., Malekzadeh, P., Banan, Mo. R. (2011). Thermal postbuckling of laminated composite skew plates with temperature-dependent properties. *J. Thin Walled Structures*, Vol. 47, No 7, 804–811. 8. Thuç, P. Vo., Thai Huu-Tai. (2012). Vibration and buckling of composite beams using refined shear deformation theory. *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 62, No 1, 67–76. doi: [10.1016/j.ijmecsci.2012.06.001](https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2012.06.001) 9. Asadi, H., Aghdam, M. M. (2014). Large amplitude vibration and post-

buckling analysis of variable cross-section composite beams on nonlinear elastic foundation. *Intern. Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 79, 47–55. doi: [10.1016/j.ijmecsci.2013.11.017](https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2013.11.017) 10. Isayev, F. Q., Memmedli, R. E. (2014). Vibration of nonhomogeneous three-layered rods against the effect of thermo-mechanical stress in anisotropic foundation. *Journal of Qafqaz University Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 2, No 2, 112–117.

Поступила (received) 20.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Исали Биллур Элман кызы – докторант кафедры "Инженерная механика", Университет Кавказ; ул. Гасан Алиева, 120, г. Хырдалан, Баку, Абшерон, Азербайджан, AZ0101; e-mail: fisayev@qu.edu.az.

Исали Биллур Элман кизи - докторант кафедры "Инженерна механіка", Університет Кавказ; вул. Гасан Алієва, 120, м. Хирдалан, Баку, Абшерон, Азербайджан, AZ0101; e-mail: fisayev@qu.edu.az.

Isali Billura Elman kizi – doctorant department of Engineering Mechanics Qafqaz University, Qasan Aliyev str.120, Khirdalan, Baku, Absheron, Azerbaijan, AZ0101; tel.: (+99412) 448-28-62; e-mail: fisayev@qu.edu.az.

Мамедли Рамил Элман оглы – докторант кафедры "Инженерная механика" Университет Кавказ; ул. Гасан Алиева, 120, г. Хырдалан, Баку, Абшерон, Азербайджан, AZ0101, e-mail: fisayev@qu.edu.az.

Мамедли Камил Элман огли – докторант кафедры "Инженерна механіка" Університет Кавказ; вул. Гасан Алієва, 120, м Хирдалан, Баку, Абшерон, Азербайджан, AZ0101, e-mail: fisayev@qu.edu.az.

Mamedli Ramil Elman oqli – doctorant department of Engineering Mechanics, Qafqaz University, Qasan Aliyev str.120, Khirdalan, Baku, Absheron, Azerbaijan, AZ0101; e-mail: fisayev@qu.edu.az.

УДК 539.3

Ф. К. ИСАЕВ, В. Г. РАДЖАБОВ

УСТОЙЧИВОСТЬ НЕОДНОРОДНЫХ НАНО-МИКРО ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЛОКАЛЬНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

В представленной статье исследуется устойчивость неоднородных нано-микро элементов на основе не локальной теории упругости. Здесь как элемент конструкции принята прямолинейный стержень и для него принята теория стержней Эйлера-Бернулли. Предполагается, что модуль упругости материала стержня является непрерывной функцией координаты толщины. При получении уравнений устойчивости на основе теории стержня Эйлера-Бернулли был использован уравнения состояния не локальной теории упругости предложенные Эрингеном. Для различных случаев граничных условий получены уравнения устойчивости рассмотренных стержней. После решения полученных уравнений найдены аналитические формулы для определения критической нагрузки и проведены различные анализы.

Ключевые слова: нано-микро элемент, неоднородный, теория стержней Эйлера-Бернулли, устойчивость, критическая нагрузка, не локальная теория упругости

Введение. Различные вопросы устойчивости и прочности одно и многослойных стержневых элементов конструкций из однородных материалов в научной литературе исследованы достаточно. В этих работах в основном использованы классические соотношения теории упругости [1–3].

В последние годы в технике интенсивно используются новые композитно-искусственные материалы. Поэтому эти процессы ставят перед конструкторами-исследователями повышенные требования к оценке прочности, устойчивости и колебаниям, так как при различных условиях работы и режимах нагружения возникает ряд вопросов, которое требует решения новых задач напряженно-деформированного состояния и определения критических параметров. Во многих случаях слоистые элементы конструкции изготавливаются из различных неоднородно упругих материалов. Причиной появления неоднородности могут быть технология изготовления конструкций, термическая обработка материалов, неоднородность составов и т.д. Учет этих факторов при решении задач устойчивости и колебаниям конструкций является очень существенным. Поэтому при решении многих задач устойчивости и колебаниям элементов конструкций из неод-

нородных композиционных материалов требуется использовать более уточненные гипотезы или теории. Одной из таких теорий является теория не локальной теории упругости предложенной А. К. Эрингеном [5, 6].

В работе [4] были рассмотрены некоторые задачи изгиба и прочности неоднородных нано-микро элементов. В данной работе исследуется задача устойчивости неоднородных стержней на основе не локальной теории Эрингена [5]

Постановка задачи. Известно, что уравнения движения Коши однородно упругих тел на основе не локальной теории упругости сочитот из следующих уравнений [5]:

$$\tau_{kl,i} + \rho \left(f_i - \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \right) = 0, \quad (1)$$

здесь физические соотношения имеют следующий вид:

$$\tau_{kl}(x) = \int_v \varepsilon_{klmn}(x-x') \varepsilon_{mn} dv(x'), \quad (2)$$

где τ_{kl} - компоненты тензора напряжений, ρ – плотность массы тела, f - плотность массового сила, u - компоненты вектора перемещения, v – объем

© Ф. К. Исаев, В. Г. Раджабов. 2015

тела, t - время, ε_{kl} - компоненты тензора деформации и определяются по следующим формулам:

$$\varepsilon_{kl} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_k}{\partial x_l} + \frac{\partial u_l}{\partial x_k} \right). \quad (3)$$

Как видно ε_{klmn} являются функциями вектора $x-x'$, и напряжения в точках x зависят от деформаций и перемещений в точках x' .

Связь между компонентами напряжений и деформаций в точках x' - определяются на основе обобщенного закона Гука / 5 /:

$$\tau(x') = \lambda \varepsilon_{mn}(x') \delta_{ke} + 2\mu \varepsilon_{ke}(x'), \quad (4)$$

$$\varepsilon_{kl}(x') = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_k(x')}{\partial x'_l} + \frac{\partial u_l(x')}{\partial x'_k} \right)$$

Уравнения состояния нелокальной теории упругости предложенной К.А.Эрингеном имеют следующий вид / 5-6 /:

$$\left[1 - (l_0 a)^2 \nabla^2 \right] \sigma_{kl} = \tau_{kl}, \quad (5)$$

$$\left[1 - (l_0 a)^2 \nabla^2 \right] \tau_{kl} = \lambda \varepsilon_{kl} \delta_{kl} + 2\mu \varepsilon_{kl}$$

Здесь l_0 - характеристическая внутренняя длина, a - постоянная материала.

Из (5) для стержня можно получить:

$$\left[1 - (l_0 a)^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right] \sigma_{xx} = E \varepsilon_{xx}, \quad (6)$$

$$\left[1 - (l_0 a)^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right] \tau_{xx} = 2G \varepsilon_{xx}$$

Предположим, что материал стержня является неоднородным т.е., $E = E(z)$ (модуль упругости материала стержня является непрерывной функцией координаты толщины).

Если рассмотреть теории стержней Эйлера-Бернулли, то можно записать:

$$\sigma_{xx} = E \left(\frac{\partial u}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right), \quad (7)$$

Здесь u - перемещения по направлению оси, w - прогиб оси стержня.

В рассматриваемом случае компоненты усилий и момента вычисляются по формулам:

$$P = \int_A \sigma_{xx} dA, \quad N = \int_A \tau_{xx} dA, \quad M = \int_A \sigma_{xx} z dA, \quad (8)$$

где S -площадь поперечного сечения стержня.

С учетом (7) из (8) для момента получается:

$$M = KI \frac{d^2 w}{dx^2}, \quad KI = \int_A E z^2 dA \quad (9)$$

Здесь KI - обобщенная жесткость рассматриваемого стержня. Если неоднородность имеет вид: $E = E_0 \left(1 + \gamma \frac{z^2}{h^2} \right)$ тогда получим:

$$KI = E_0 I \left(1 + \gamma \frac{3}{20} \right), \quad (10)$$

где $E_0 I$ - изгибная жесткость однородного стержня.

После некоторых преобразований из (6) - можно получить:

$$\left[1 - (e_0 a)^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right] KI = - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad (11)$$

Уравнения движения рассматриваемого стержня имеет вид:

$$\frac{\partial P}{\partial x} + f = m_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + q - \frac{\partial}{\partial x} \left(P \frac{\partial w}{\partial x} \right) = m_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - m_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2 \partial t^2} \quad (13)$$

Где обозначено: P -осевая сжимающая сила, q -равномерно распределенная сила,

$$m_0 = \int_s \rho ds = \rho s; \quad m_2 = \int_s z^2 ds = \rho s \frac{h^2}{12} \quad (14)$$

Здесь для усилия и момента можно получить следующие выражения:

$$P = Ks \frac{\partial U}{\partial x} + \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(m_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - f \right) \quad (15)$$

$$M = -KI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(P \frac{\partial w}{\partial x} \right) - q - m_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - m_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial t^2} \right] \quad (16)$$

Подставляя выражения для момента (16) в уравнение (13) получим следующую уравнению движения рассматриваемого неоднородного стержня:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(-KI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + \mu \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(P \frac{\partial w}{\partial x} \right) - q + m_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - m_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial t^2} \right] + \left(17 \right)$$

$$+ q - \frac{\partial}{\partial x} \left(P \frac{\partial w}{\partial x} \right) = m_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - m_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial t^2}$$

Присоединяя этому уравнению граничные условия получим общую постановку рассмотренной задачи.

Решение задачи устойчивости сжатого стержня.

В общем случае решение уравнения (17) связано с большими математическими трудностями. Поэтому рассмотрим случай, когда на стержень действует только сжимающая нагрузка (т.е. $q=0$). В этом случае уравнение (17) упрощается и получится в виде:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(KI \frac{d^2 w}{dx^2} \right) + \frac{d}{dx} \left(P \frac{dw}{dx} \right) + \mu \frac{d^2}{dx^2} \left[\frac{d}{dx} \left(P \frac{dw}{dx} \right) \right] = 0 \quad (18)$$

Дважды интегрируя это уравнение получим

$$EI \frac{d^2 w}{dx^2} - \mu P \frac{d^2 w}{dx^2} + Nw = k_1 x + k_2 \quad (19)$$

где k_1, k_2 - постоянные интегрирования.

Если рассмотреть однородное уравнение, получим:

$$\frac{d^2 w}{dx^2} + \lambda^2 w = 0 \quad (20)$$

Здесь обозначено:

$$\lambda^2 = \frac{P}{KI - \mu P} \quad \text{или} \quad P = \frac{\lambda^2}{1 + \mu \lambda^2} KI \quad (21)$$

Общее решение уравнения (19) получается в виде:

$$w = c_1 \sin \lambda x + c_2 \cos \lambda x + \frac{1}{\lambda^2} (k_1 x + k_2) \quad (22)$$

где постоянные интегрирования определяются из граничных условий задачи.

Рассмотрим случай, когда концы стержня жестко закреплены. При этом граничные условия имеют вид:

$$w=0; \text{ и } \frac{dw}{dx} = 0 \text{ при } x=0; \text{ а } , \quad (23)$$

С учетом (22) из (23) получается следующее трансцендентное уравнение:

$$\lambda a \sin \lambda a + 2 \cos \lambda a - 2 = 0; \quad (24)$$

Как видно решением уравнение (24) является методом Ньютона можно показать, что $\lambda = 2\pi$. Тогда для критической нагрузки получим формулу:

$$P = KI \times \frac{4 \left(\frac{n\pi}{a} \right)^2}{1 + 4\mu \left(\frac{n\pi}{a} \right)^2} \quad (25)$$

Отсюда минимального значения критической нагрузки получим формулу:

$$P_{kr} = \frac{KI}{a^2} \left(\frac{4\pi^2}{1 + 4\mu\pi^2} \right) \quad (26)$$

Следует отметить, что при $\mu = 0$, из (26) получается решение аналогичной задачи на основе классической теории упругости.

С учетом (10) из (26) находим:

$$P_{kr} = \left(1 + \gamma \frac{3}{20} \right) P_{krR} \quad (27)$$

где $P_{krR} = \frac{EI}{a^2} \left(\frac{4\pi^2}{1 + 4\mu\pi^2} \right)$ – критическая нагрузка

Редди для рассмотренного однородного стержня Эйлера-Бернулли / 5 /.

При численных расчетах для характерных параметров приняты следующие значения:

$$p = 2300 \text{ kg/m}^3; E_0 = 1000 \text{ GPa}; \nu = 0.19; G = 420 \text{ GPa}; \\ d = 1.0 \times 10^{-9} \text{ m}; I = 4.91 \times 10^{-38} \text{ m}^4; A = 7.85 \times 10^{-19} \text{ m}^2; \\ l_0 = 1.5 \times 10^{-9} \text{ m}$$

Результаты численных расчетов представлена табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость параметра нагрузки от параметра длины

a/l_1		10	20	30	40	50
$l_0=0.5$	$\gamma=0$	0.9102	0.9758	0.9853	0.9938	0.9561
	$\gamma=0.5$	0.9785	1.049	1.0635	1.0683	1.0708
	$\gamma=1$	1.046	1.1222	1.1377	1.1429	1.1455
	$\gamma=5$	1.5929	1.7077	1.7312	1.7352	1.7432
$l_0=1$	$\gamma=0$	0.7172	0.9102	0.5583	0.5758	0.9844
	$\gamma=0.5$	0.771	0.9785	1.030	1.0489	1.058
	$\gamma=1$	0.8248	1.0467	1.1020	1.1222	1.1321
	$\gamma=5$	1.2551	1.5928	1.6770	1.7077	1.7227

Выводы. В статье дана общая постановка задачи устойчивости нано-микро элементов типа неоднородных стержней Эйлера-Бернулли с использованием уравнений состояния нелокальной теории упругости К. А. Эрингена. Получено решения задачи устойчивости рассмотренных стержней при осевом сжатии. При жестком закреплении краев стержня найдена формула для определения критической нагрузки. Анализ численных расчетов показывает, что свойства неоднородности материала элемента может оказать существенное влияние на значения критических параметров элемента.

Список литературы: 1. Вольмир, А. С. Устойчивость деформируемых систем [Текст] / А. С. Вольмир. – М.: Наука, 1967. – 984 с. 2. Ломакин, В. А. Теория упругости неоднородных тел [Текст] / В. А. Ломакин. – М.: изд – во МГУ, 1978. – 245 с. 3. Алфутов, Н. А. Расчеты многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов [Текст] / Н. А. Алфутов, П. А. Зиновьев, Б. Г. Попов. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с. 4. Isayev, F. Q. Bending and stability of nonhomogeneous nano-micro elements based on nonlocal elasticity theory Eringen. Journal of Qafqaz University [Text] / F. Q. Isayev, V. Q. Radjabov // Mechanical and Industrial Engineering. – 2015. – Vol. 3, No 1. – pp. 80–85. 5. Reddy, J. N. Nonlocal theories for bending, buckling and vibration of beams [Text] / J. N. Reddy // International Journal of Engineering Science. – 2007. – Vol. 45. – pp. 288–307. 6. Reddy, J. N. Nonlocal continuum theories of beams for the analysis of carbon nanotubes [Text] / J. N. Reddy, S. D. Pang // Journal of Applied Physics. – 2008. – No 103(2). – pp. 023511-1–023511-16. 7. Naderi, A. Nonlocal postbuckling analysis of graphene sheets in a nonlinear polymer medium

[Text] / A. Naderi, R. Saidi // International Journal of Engineering Science. – 2014. – Vol. 81. – pp. 49–65. 8. Rahman, O. Analysis and modeling the size effect on vibration of functionally graded nanobeams based on nonlocal Timoshenko beam theory [Text] / O. Rahman, O. Pedram // International Journal of Engineering Science. – 2014. – Vol. 77. – pp. 55–70. 9. Ashrafi, M. Zenkour. Abouelregal. Vibration of FG nanobeams induced by sinusoidal pulse-heating via a nonlocal thermoelastic model [Text] / M. Zenkour Ashrafi, E. Ahmed // Journal Acta Mechanica. – 2014. – Vol. 225, No 12. – pp. 3409–3421. 10. Keivan, Kiani. Axial buckling analysis of vertically aligned ensembles of single-walled carbon nanotubes using nonlocal discrete and continuous models [Text] / Keivan Kiani // Journal Acta Mechanica. – 2014. – Vol. 225, No 12. – pp. 3569–3589. 11. Reddy, J. N. Eringen's nonlocal theories of beams accounting for moderate rotations [Text] / J. N. Reddy, El-Borgi Sami // International Journal of Engineering Science. – 2014. – Vol. 82. – pp. 159–177. 12. Ghorbanpour, Arani A. Nonlinear vibration of conpled nano and microstructures conveying fluid based on Timoshenko beam model under two dimensional magnetic field [Text] / Arani A. Ghorbanpour, P. Dasthi, S. Amir, M. Yousefi // Journal Acta Mechanica. – 2015. – Vol. 226, No 8. – pp. 1737–1756. 13. Dai, H. I. On nonlinear behavior an buckling of fluid-transporting nanotubes [Text] / H. I. Dai, L. Wang, A. Abdelkefi, Q. Ni // International Journal of Engineering Science. – 2015. – Vol. 87. – pp. 13–22. 14. Amir, Mehdi Dehrouyen Semnami, Mohammad Dehrouyen, Mostafa Torabi-Kafshgari, Mansour Nikkha-Bahrami. Adamped sandwich beam model based on symmetric-deviatoric couple stress theory [Text] / Amir Mehdi // International Journal of Engineering Science. – 2015. – Vol. 92. – pp. 83-94. 15. Li, Li. Buckling analysis of size-dependent nonlinear beams based on a nonlocal strain gradient theory [Text] / Li Li, Yu Jin Hu. // International Journal of Engineering Science. – 2015. – Vol. 97. – pp. 84–94.

Bibliography (transliterated): 1. Volmir, A. S. (1967). Ustoichivost deformiruemyx sistem. Moscow: Nauka, 984. 2. Lomakin, V. A. (1978). Teoriya uprugosti neodnorodnyx tel. Moscow: izd – vo MGU, 245. 3.

- Alfutov, N. A. Zinovev, P. A., Popov, B. G. (1984). Raschety mnog-oslojnykh plastin i obolochek iz kompozicionnykh materialov. Moscow: Mashinostroenie, 264. **4.** Isayev, F. Q., Radjabov, V. Q. (2015). Bending and stability of nonhomogeneous nano-micro elements based on non-local elasticity theory Eringen. Journal of Qafqaz University. Mechanical and Industrial Engineering, Vol. 3, No 1, 80–85. **5.** Reddy, J. N. (2007). Nonlocal theories for bending, buckling and vibration of beams. International Journal of Engineering Science, Vol. 45, 288–307. **6.** Reddy, J. N., Pang, S. D. (2008). Nonlocal continuum theories of beams for the analysis of carbon nanotubes. Journal of Applied Physics, No 103(2), 023511-1–023511-16. **7.** Naderi, A., Saidi, R. (2014). Nonlocal postbuckling analysis of graphene sheets in a nonlinear polymer medium. International Journal of Engineering Science, Vol. 81, 49–65. **8.** Rahman, O., Pedram, O. (2014). Analysis and modeling the size effect on vibration of functionally graded nanobeams based on nonlocal Timoshenko beam theory. International Journal of Engineering Science, Vol. 77, 55–70. **9.** Ashrafi, M. Zenkour, Ahmed, E. (2014). Abouelregal. Vibration of FG nanobeams induced by sinusoidal pulse-heating via a nonlocal thermo-elastic model. Journal Acta Mechanica, Vol. 225, No 12, 3409–3421. **10.** Keivan, Kiani. (2014). Axial buckling analysis of vertically aligned ensembles of single-walled carbon nanotubes using nonlocal discrete and continuous models. Journal Acta Mechanica, Vol. 225, No 12, 3569–3589. **11.** Reddy, J. N., Sami, El-Borgi. (2014). Eringens nonlocal theories of beams accounting for moderate rotations. International Journal of Engineering Science, Vol. 82, 159–177. **12.** Ghorbanpour, Arani A., Dasthi, P., Amir, S., Yousefi, M. (2015). Nonlinear vibration of coupled nano and microstructures conveying fluid based on Timoshenko beam model under two dimensional magnetic field. Journal Acta Mechanica, Vol. 226, No 8, 1737–1756. **13.** Dai, H. L., Wang, L., Abdelkefi, A., Ni, Q. (2015). On nonlinear behavior an buckling of fluid-transporting nanotubes. International Journal of Engineering Science, Vol. 87, 13–22. **14.** Amir, Mehdi. (2015). Dehrouyen-Semnami, Mohammad Dehrouyen, Mostafa Torabi-Kafshgari, Mansour Nikkha-Bahrami. Adamped sandwich beam model based on symmetric-deviatoric couple stress theory. International Journal of Engineering Science, Vol. 92, 83-94. **15.** Li, Li, Yu, Jin Hu. (2015). Buckling analysis of size-dependent nonlinear beams based on a nonlocal strain gradient theory. International Journal of Engineering Science, Vol. 97, 84–94.

Поступила (received) 12.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Исаев Фахрaddin Курбан оглы – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедры “Математика и информатика”, Университет Гафгаз, ул. Гасан Алиева, 120, г. Хырдалан, Баку, Абшерон, Азербайджан, AZ0101

Исаев Фахрaddin Гурбан оглы – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедры “Математика та информатика”, Университет Гафгаз, вул. Гасан Алиева, 120, м. Хирдалан, Баку, Абшерон, Азербайджан, AZ0101

Isayev Fakhraddin Gurban oglu – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department “Mathematics and Informatics”, Qafqaz University, ul. Hasan Aliyev, 120, Khirdalan city, Baku, Absheron, Azerbaijan, AZ0101

Раджабов Вугар Газанфар оглы – докторант кафедры “Инженерная механика” Университет Гафгаз, ул. Гасан Алиева, 120, г. Хырдалан, Баку, Абшерон, Азербайджан, AZ0101

Раджабов Вугар Газанфар оглы – докторант кафедры “Инженерная механика” Университет Гафгаз, вул. Гасан Алиева, 120, м. Хирдалан, Баку, Абшерон, Азербайджан, AZ0101

Rajabov Vugar Ghazanfar ogly – PhD in “Mechanical Engineering” Qafqaz University, ul. Hasan Aliyev, 120, Khirdalan city, Baku, Absheron, Azerbaijan, AZ0101

УДК 616-073.55, 616-073.582, 616-073.65

В. П. МАСЛОВ, П. М. ЛИТВИН, Т. А. ТУРУ, А. А. КОРЧОВИЙ, Н. В. КАЧУР, А. В. ГУРИН

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ ПЛІВКОВОГО НАГРІВАЧА НА ОСНОВІ ПРОЗОРОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОЇ ПЛІВКИ ІТО

Встановлено, що напилене магнетронним способом на скляний зразок віконного флоат-скла прозоре електропровідне ІТО покриття може мати топологічну структурну неоднорідність товщини, шорсткості, розміру зерен та механічних напружень, яка при нагріванні проявляється в нерівномірності температурного поля на ньому. Рекомендується у виробництві віконного скла з ІТО-покриттям проводити поляризаційний контроль механічних напружень в зразках готової продукції.

Ключові слова: тонкоплівковий прозорий нагрівач, нанопокриття окис «індію – олова», флоат-скло, атомно-силова мікроскопія, термографія, механічні напруження, поляризаційний оптичний контроль.

Вступ. Тонкоплівкові прозорі електропровідні покриття на скляній поверхні на основі оксиду олова та індію (ІТО) використовуються в мікроелектроніці та «сонячній» енергетиці.

В конструкціях сонячних батарей такі покриття можуть використовуватись як ізолюючі для уникнення шунтування структур приладу [0] або при інших співвідношеннях компонентів в якості електричних контактів в екранах дисплеїв, а також для нагрівання цих дисплеїв з метою забезпечення їх роботи при мінусових температурах [0, 0]. Ці покриття використовуються також в якості нагрівальних елементів для видалення крапель вологи на об'єктах оптичних приладів.

Одним з актуальних напрямків використання ІТО є енергозбереження в комунальному господарстві, а саме в якості тепловідбиваючого покриття ІТО для стекол, завдяки якому відбувається зменшення теплопередачі випромінюванням із побутових приміщень на вулицю. Тепловідбиваючі плівки мають здатність пропускати короткохвильову сонячну радіацію в діапазоні від 0,4 до 2,5 мкм і майже повністю (до 80-90 %) відбивають довгохвильову теплову інфрачервону радіацію в діапазоні від 2,5 до 25 мкм, яка і є основним компонентом теплових втрат. Для порівняння:

© В. П. Маслов, П. М. Литвин, Т. А. Туру, А. А. Корчовий, Н. В. Качур, А. В. Гурін. 2015

звичайна шибка пропускає до 70 % інфрачервоної радіації, а відбиває близько 6 %. При заміні звичайного зовнішнього скла на тепловідбивне (з покриттям ІТО) опір теплопередачі збільшується в 1,4 рази, а середня температура внутрішньої поверхні скла в літніх умовах істотно знижується, в зимових же збільшується на 4-5 °С.

Унікальні властивості плівок ІТО пояснюються тим, що чистий нелегований оксид індію відноситься до вроджених напівпровідників p-типу [0] з широкою забороненою зоною, концентрація електронів провідності в ньому приблизно досягає $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Існування вільних електронів провідності в матеріалі пояснюється наявністю кисневих вакансій. Для підвищення концентрації електронів провідності оксид індію легують чотирьохвалентним оловом. Концентрація вільних носіїв заряду зростає при цьому до 10^{21} см^{-3} , а рухливість вільних носіїв заряду становить від 10 до 30 $\text{см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$ [0].

Існує декілька способів напилення таких плівок на поверхню скла. За першим способом напилення [0] оксидна плівка осаджується на скляній підкладинці із водяних розчинів солей індію та олова. Також широко використовується магнетронне розпилення відповідних металів з наступним термічним відпалом нанесеного покриття [0]. При цьому контроль однорідності товщини виготовлених тонкопліткових прозорих електропровідних покриттів на основі оксидів індію та олова, здійснюють за показником оптичного пропускання з використанням спектрометра (SPECORD M400) та питомого електроопору зондовим методом. Для великогабаритних віконних стекол з ІТО покриттям відомі способи контролю є трудомісткими і не надають загальну картину їх якості.

Ціль роботи. Ціллю досліджень було визначення наявності топологічної неоднорідності товщин ІТО та впливу на його роботу, як нагрівача на зразках віконного скла більших за розміром ніж для поширених деталей оптико-електронних приладів.

Експериментальні дослідження топологічної неоднорідності ІТО покриттів на флоат-склі. На поверхню зразка з листового полірованого скла (флоат-скло) розмірами 240x95x3 мм після очищення напилювали покриття ІТО на високовакумній установці магнетронного напилення зі шлюзовими камерами. Зразок розміщали у камері осадження, а потім переміщали в камеру, що з'єднувалась з атмосферою, в яку вивантажували зразок. Технологічні режими та схеми напилення відповідали роботі [0].

Контроль якості поверхні плівки та її товщини здійснювався на скануючому атомно-силовому мікроскопі NanoScope IIIa Dimension 3000. Плівка має типовий для магнетронного способу нанесення рельєф, що повторює неоднорідності поверхні скляної підкладки. Характерна товщина та шорсткість поверхні склали 20 нм та 8нм, відповідно.

Для дослідження нагріву плівки, по краях виготовленого зразка наносили металеві електроди та прикладали напругу. Використовуючи понижуючий трансформатор, подавали змінну напругу від 5 до 30 В. Опір між контактами складав 20 Ом, що у перерахунку на площу зразка відповідає $0,09 \text{ Ом/см}^2$. При кожній конкретній напрузі давали витримку 10-20 хв і

фіксували термограму нагрітого зразка. Для цих термографічних вимірювань був використаний експериментальний тепловізор (рис. 1), характеристики якого наведено у табл. 1.



Рис. 1 – Зовнішній вигляд тепловізора

Таблиця 1 – Характеристики камери для термічного бачення

Параметр	Значення
Габаритні розміри, мм	287x192x130
Поле кут зору, град	40
Кількість елементів матриці	256Nx290V
Розміри одного елемента	50x33 μm^2
Частота кадрів	25 Гц
Діапазон спектральної чутливості	2 – 5,3 мкм
Вхідний сигнал камери	Цифровий
Напруга живлення	220 В \pm 10%, частота 50 Гц \pm 1%
Температурна чутливість	0,07 °С на площі 0,25 мм^2
Охолодження	Рідкий азот

Залежність загальної температури розігріву зразка від підведеної потужності приведена на рис. 2. Видно, що плівка ефективно нагрівається і температура лінійно залежить від прикладеної питомої електричної потужності. Відповідна вольт-амперна залежність та залежність температури від нагріву показані на рис. 3, 4. Як і температура нагріву, вольт-амперна залежність є майже лінійною, а напруги величиною 30 В при струмі 1.4 А достатньо для нагріву плівки до 88 °С.

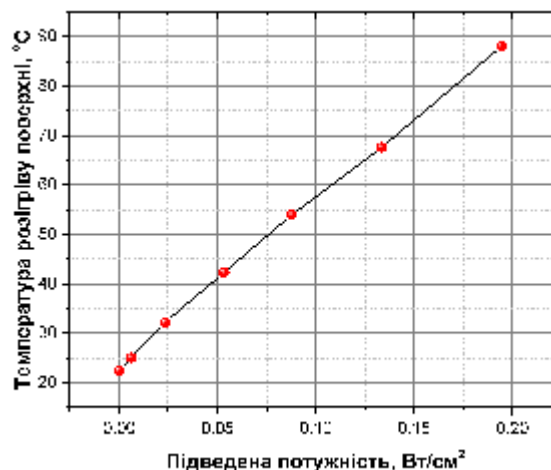


Рис. 2 – Залежність температури розігріву зразка від прикладеної потужності

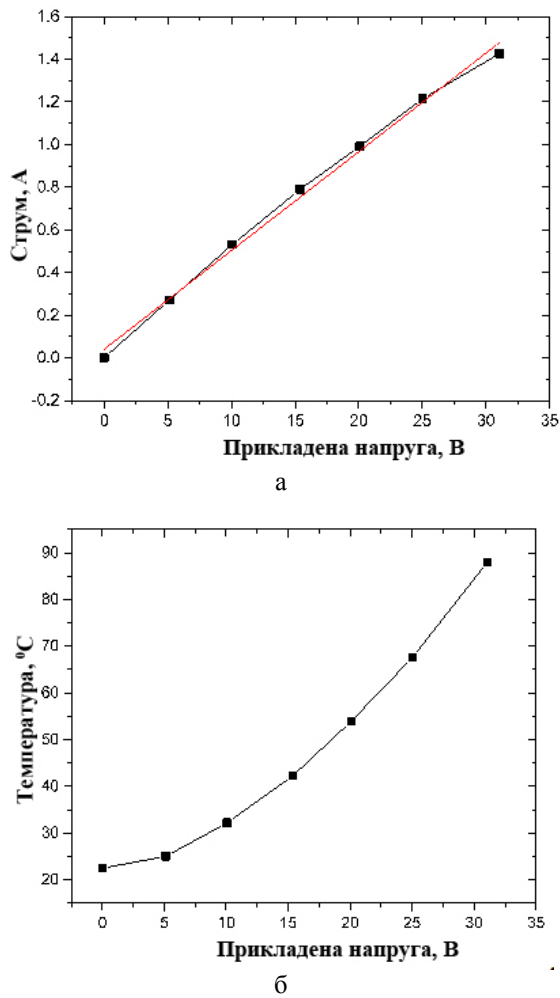


Рис. 3 – Залежності: а – струму та б – температури від прикладеної змінної напруги, які відповідають рис. 2

Неоднорідність топологічної структури зразка, що досліджувався, проводили поляризаційним методом. Замість відомого приладу ПКС-250 автори запропонували простий для виконання спосіб [0] поляризаційного контролю прозорих зразків, при якому в якості джерела поляризованого світла використовується монітор персонального комп'ютера в стані ввімкнення в електричну мережу, а в якості аналізатора – плівковий аналізатор та цифрова камера для документування результатів контролю. Зразок розміщували між екраном та аналізатором (рис. 4).

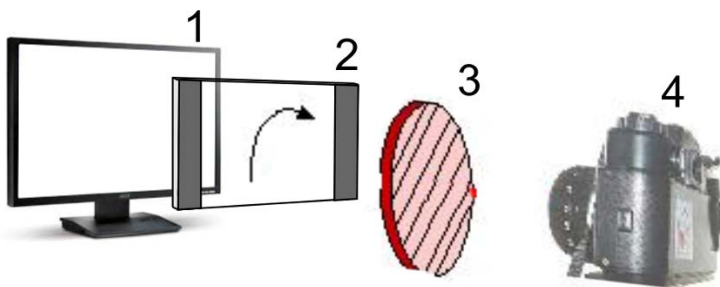


Рис. 4 – Схема поляризаційного контролю: 1- екран ПК у стані ввімкнення, 2 – зразок, який досліджували, 3- аналізатор, 4 – камера для документування

Аналіз термографічних зображень дозволив встановити, що розігрів зразка відбувається не рівномірно і для стабілізації температурного поля потрібно 15-20 хв. При напрузі від 15 до 35 В проявляються температурні особливості (рис. 5) у вигляді горизонтальних більш нагрітих ліній в яких температура складала 60-90 °С, в той час як середня частина на початковому етапі нагрівалась лише на 30-40 °С, а на торцях з електродами не перевищувала 30 °С. Ця нерівномірність розподілу температури при напрузі 15 В та 30В наведена на рис. 6.

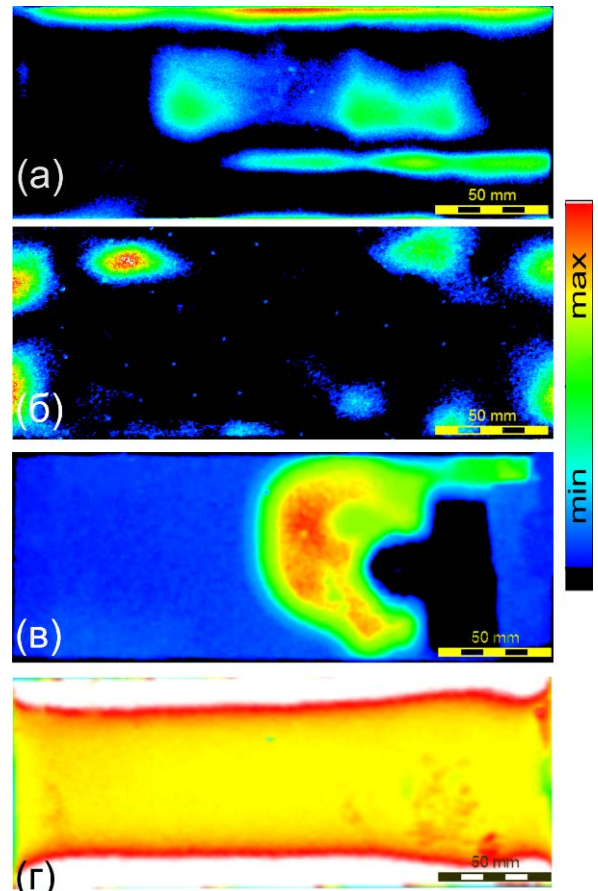


Рис. 5– Порівняння «поляризаційних» неоднорідностей зразка із температурним фронтом його розігріву. а, б – інтенсивність поляризованого світла, що проходить крізь зразок при повному гасінні підсвітки монітора аналізатором на характерних кутах повороту зразка 0 та 45°, відповідно; в,г – термограми нерівномірного нагріву при напругах ~ 5 В та ~ 30 В, відповідно

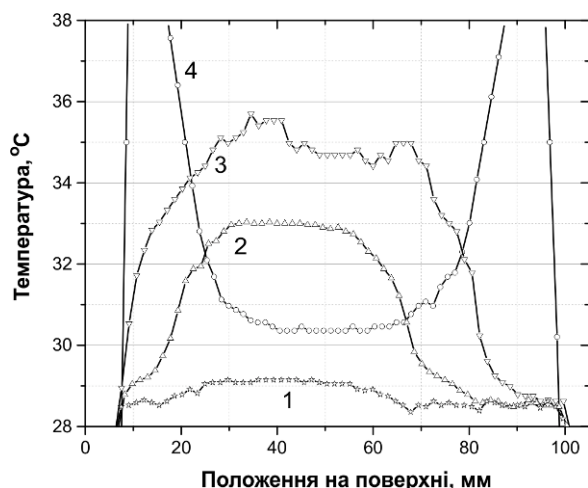


Рис. 6 – Розподіл температури в горизонтальному перерізі зразка при напруга напругах 15В та 30 Вт. Криві 1-3 відповідають перерізам в різних місцях неоднорідного температурного поля розігріву при 15В (рис. 5, в). Крива 4 – переріз розподілу температурного поля при 30 В до встановлення теплової рівноваги

Додатково методом атомно-силової мікроскопії (АСМ) досліджували шорсткість та перепади висот покриття на краях і всередині зразка. Дослідження проводили на зондовому мікроскопі NanoScope IIIa Dimension 3000TM в лабораторії вимірювань геометричних параметрів поверхні Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України (лабораторія атестована відповідно до вимог Правил уповноваження та атестації в державній метрологічній системі) [0]. На рис. 7 наведена різниця в товщині плівки, яка відповідають особливостям поляризаційної картини крайового фрагменту зразка.

Видно, що на краях плівки (білий контраст, прямокутник А), товщина плівки є меншою на 5-6 нм, що складає четверту частину загальної товщини покриття ІТО. Також на краю плівки вищою є амплітуда рельєфу, що вказує на меншу щільність плівки і те, що границі між її окремими нанометровими ділянками є більш широкими. Це може бути причиною більшого питомого опору плівки в ділянках на краю зразка, що і зумовлює їх менший нагрів. Це справджується до напруги 30В. При 30В картина інвертувалася.

Така нерівномірність розподілу температури також може бути пов'язана як зі зміною складу покриття, так і з топологічним нерівномірним розподілом його товщини, шорсткості, розміру зерен [0] та механічними напруженнями, які були утворені в процесі магнетронного напилення. До того ж флот процес виробництва листового полірованого скла пов'язаний з контактуванням розігрітого скла з розплавленим рідким оловом, що забезпечує формування полірованої поверхні на листовому склі і вірогідним насиченням атомів олова цієї поверхні. Цей процес має направлений характер за технологією витягування (виробництва) віконного скла.

Поляризаційні дослідження (рис. 8) показали, що незначний перепад товщин плівки між крайовою та центральною зонами на рівні 6 нм може змінювати поляризаційний контраст і формувати його характерну симетрію через деформацію скляної підкладки.

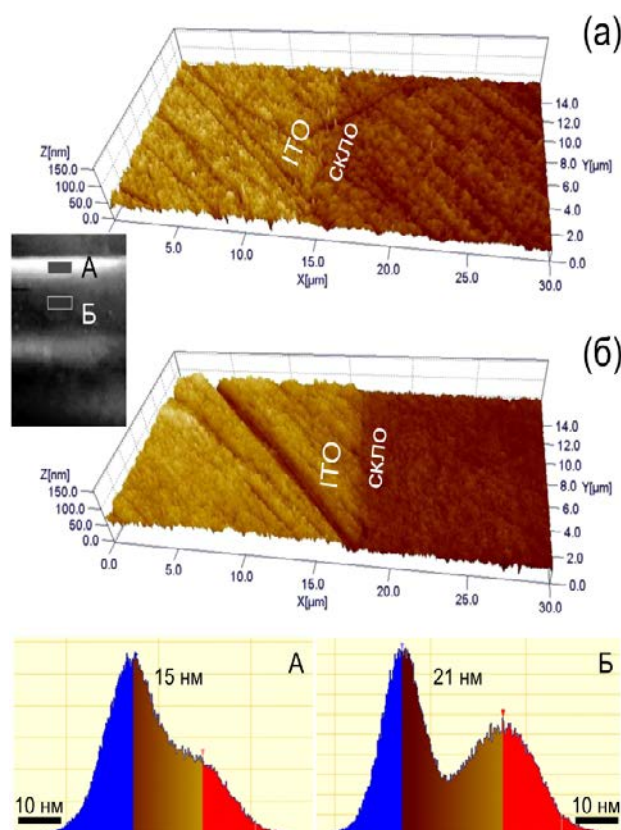


Рис. 7– АСМ вимірювання товщини шару ІТО в областях з різним поляризаційним контрастом біля краю пластини: а – 3D зображення сходинок на краю зразка в світлій зоні (прямокутник А на вставці), б – в темній зоні (прямокутник Б на вставці). (А, Б) – гістограми висот, які відповідають АСМ зображенням (а та б). Цифри вказують перепад висот між максимумами гістограм, сформованими від областей плівки та скляної підкладки

При обертанні зразка відповідно положенню аналізатора можна було констатувати, що кожен 90 градусів картина повторюється, а при 45 градусах є тенденція до інверсії інтенсивності світла, яке проходить крізь зразок. Між 0° і 45° інтенсивність плавно переходить одна в другу. При загальній товщині плівки 20нм та різниці товщин на рівні 5 - 6 нм такі поляризаційні ефекти обумовлені не лише і не стільки товщиною, скільки внутрішніми механічними напруженнями в системі скло-покриття. Аналогічні результати було отримано при дослідженні проходження поляризованого світла крізь отвори та тріщини у тонких металевих плівках [0].

Додатково проводили дослідження впливу локального розігріву на поляризаційну картину в зразку. Локальний нагрів зони зразка, відміченої стрілкою (рис. 9), проводили струменем розігрітого повітря (використовувався фен для паяння мікросхем). Можна побачити, що після нагріву протягом кількох секунд в зоні нагріву виникає чорна пляма, що пов'язана з розтягуючими напруженнями в цій зоні, які компенсуються в світлих зонах (стиснення).

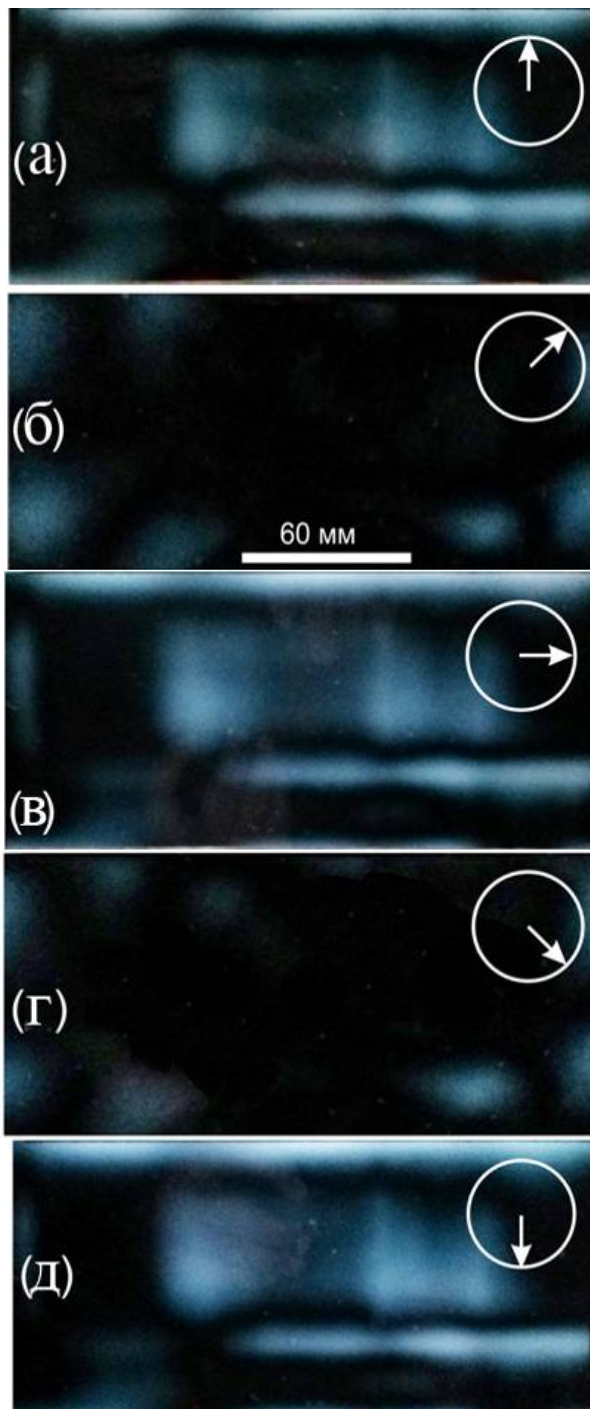


Рис. 8 – Зображення зразка а–д : при повному гасінні підствітки монітора аналізатором, зразок повертався в площині монітора на кут, вказаний стрілкою на вставках

Після припинення локального нагріву поляризаційна картина поступово повертається до вихідного вигляду. Результати поляризаційних досліджень дозволяють виявити неоднорідний характер деформаційних полів в зразку, загальна картина яких формується на всіх технологічних стадіях підготовки скляної підкладки і нанесення покриття. У тому числі і деформаційні поля в підкладці привнесені топологічними неоднорідностями плівки.

Раніше були виконані роботи зі створення нових технологій та матеріалів для виробництва натяжних бортових авіаційних рідкокристалічних дисплеїв [0].

В цій роботі плівкові нагрівачі виготовляли на підкладках зі склокераміки з ультранизьким коефіцієнтом термічного розширення. Полірування цих підкладок виконували за стандартною технологією виготовлення оптичних поверхонь. ІТО покриття наносили за однією і тією ж технологією, що і зразок, який досліджувався в цій роботі. Термографія показала, що зразок плівкового нагрівача для авіаційних дисплеїв при нагріванні не мав топологічних неоднорідностей температурного поля. Така різниця між цими двома зразками вказує, що створення полірованої поверхні за оптичною технологією та флоат - технологією для віконного скла впливають на особливості саме для флоат – технології.

Таким чином, проведені дослідження дозволили виявити особливості топологічної неоднорідності плівки ІТО при нанесенні на поліроване віконне скло. Ці неоднорідності викликають неоднорідність нагріву та мають складний комплексний характер виникнення, що, в свою чергу, пов'язаний з технологією його виробництва.

Незалежними методами було встановлено, що на зразку, що досліджувався, має місце неоднорідність температурного поля на плівковому нагрівальному елементі. Застосований спосіб поляризаційного контролю дозволяє візуально визначити неоднорідності флоат-скляної підкладки та покриття і є високоефективним для використання у виробництві.

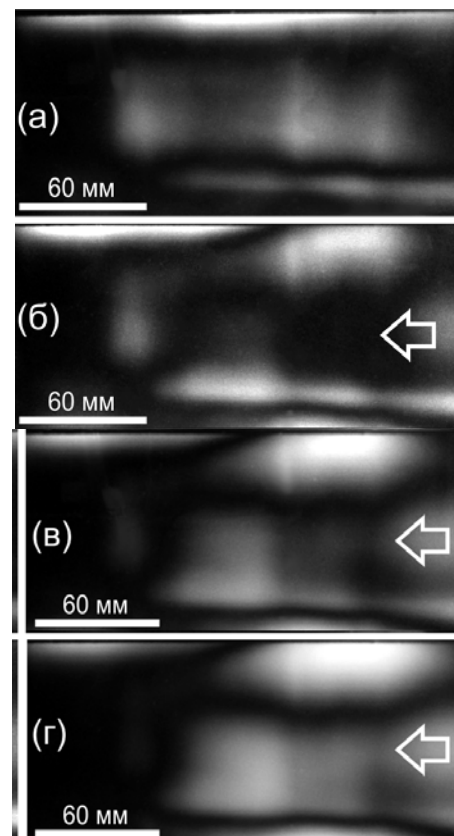


Рис. 9 – Зміни поляризаційного контрасту при асиметричному нагріві зразка: а, в – зразок у вихідному стані; б, г – трансформація контрасту при поширенні теплового поля за час 9 сек. Зона локального нагріву та напрям поширення температурного поля вказані стрілкою

Подяка. Автори висловлюють щире вдячність кандидату технічних наук, старшому науковому співробітнику Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України Дунаєвському Вадиму Івановичу та науковому співробітнику Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Назарчук Світлані Степанівні за попередні термографічні дослідження.

Висновки. 1. Встановлено, що на скляному зразку віконного флоат - скла з напиленим магнетронним способом прозором електропровідним ІТО покриттям може мати топологічну структурну неоднорідність товщин, шорсткості, розміру зерен та механічних напружень, яка при нагріванні проявляється в нерівномірності температурного поля на ньому.

2. Рекомендується у виробництві віконного скла з ІТО-покриттям проводити поляризаційний контроль механічних напружень в зразках готової продукції.

Список літератури: 1. Хрипунов, Г. С. Влияние наноразмерной прослойки оксида олова на эффективность фотоэлектрических процессов в пленочных солнечных элементах на основе теллурида кадмия [Текст] / Г. С. Хрипунов, А. В. Пирогов, Д. А. Кудий, Р. В. Зайцев, А. Л. Хрипунова, В. А. Геворкян, П. П. Гладышев // Журнал нанотехнологической физики. – Том 7 No 1. – 2015. – С. 01016-1–01016-6.2. Коломзаров, Ю. В. Рідкокристалічний дисплей [Текст] / Ю. В. Коломзаров, В. П. Маслов, Ю. Г. Толстух, Ю. Я. Циркунов // патент України на корисну модель No 4517 опуб. 17.01.2005, бюл. No 1.3. Transparent and conducting ITO films: new developments and applications / C.G. Granqvist, A. Hultaker // Thin Solid Films. – 2002. – Vol. 411. – P. 1–5.4. Юрченко, Г. В. Электрические и оптические свойства пленок ITO, полученных методом магнетронного распыления [Текст] / Г. В. Юрченко // Вопросы атомной науки и техники. – 2000. – No 5. – С. 97–98.5. Патрушев, В. В. Способ получения прозрачной проводящей пленки insno [Текст] / В. В. Патрушев, Н. Ю. Снежко, Т. Н. Патрушева // патент РФ No2491372 от 27.03.2012 г.6. Амосова, Л. П. Магнетронное напыление прозрачных электродов ITO из металлической мишени на холодную подложку [Текст] / Л. П. Амосова, М. В. Исаев // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84, Вып. 10 – С. 127–132.7. Венгер, С. Ф. Застосування плоского або телевізійного екрана в стані включення в електричну мережу живлення персонального комп'ютера або телевізора як джерела поляризованого провідності [Текст] / С. Ф. Венгер, В. П. Маслов, О. І. Семенець, Н. В. Качур, С. М. Куцовий // патент України на корисну модель No78911 опуб. 10.04.2013, бюл. No 7/2013.8. Lytvyn, P. Scanning Probe Microscopy in Practical Diagnostic: 3D Topography Imaging and Nanometrology in book Functional Nanomaterials and Devices for Electronics, Sensors and Energy Harvesting [Text] / P. Lytvyn // Editors A. Nazarov, F. Balestra, V. Kilchitska, D. Flandre // Springer International Publishing, Switzerland. – 2014. – pp. 179–219.9. Kulkarni, A. K. Dependence of the sheet resistance of indium-tin-oxide thin films on grain size and grain orientation determined from X-ray diffraction techniques [Text] / A. K. Kulkarni, K. H. Schulz, T. S. Lim & M. Khan // Thin solid films. –1999. – No345(2). – P. 273–277.10. Wu, S. Enhanced rotation of the polarization of a light beam transmitted through a silver film with an array of perforated S-shaped holes [Text] / S. Wu, Z. Zhang, Y. Zhang, K. Zhang, L. Zhou, X. Zhang, & Y. Zhu // Physical review letters. – 2013. – No 110(20). – 207401 pp.11. Коломзаров, Ю. В. Тепловізійний неруйнівний метод дослідження прозорих тонкоплівкових нагрівачів [Текст] / Ю. В. Коломзаров, В. П. Маслов, С. Л. Кравченко, В. В. Забудський // Космічна наука і технологія. – 2005. – Т. 11, No5/6. – С. 111–114.

Bibliography (transliterated):1. Hripunov, G. S., Pirogov, A. V., Kudiy, D. A., Zaytsev, R. V., Hripunova, A. L., Gevorkyan, V. A., Gladyshev, P. P. (2015). Vliyanie nanorazmernoy prosloyki oksida olova na effektivnost fotoelektricheskikh protsessov v plenochnykh solnechnykh elementah na osnove tellurida kadmia. Zhurnal nanotekhnologii fiziki, T. 7, No 1, 01016-1–01016-6.2. Kolomzarov, Yu. V., Maslov, V. P., Tolstih, Yu. G., Tsirkunov, Yu. Ya. Ridkokristalichniy displey. Patent Ukraini na korisnu model No 4517 opub. 17.01.2005, byul. No 1.3. Granqvist, C. G., Hultaker, A. (2002). Transparent and conducting ITO films: new developments and applications. Thin Solid Films, Vol. 411, 1–5.4. Yurchenko, G. V. (2000). Elektricheskie i opticheskiye svoystva plenok ITO, poluchennykh metodom magnetronnogo raspyleniya. Voprosy atomnoy nauki i tehniki, No5, 97–98.5. Patrushev, V. V., Snezhko, N. Yu., Patrusheva, T. N. (2012). Sposob polucheniya prozrachnoy provodyaschey plenki insno. Patent RF #2491372 ot 27.03.2012 g.6. Amosova, L. P., Isaev, M. V. (2014). Magnetronnoe napylenie prozrachnykh elektrodov ITO iz metallicheskoj miseni na holodnuyu polozhku. Zhurnal tehnicheckoy fiziki, T. 84, No10, 127–132.7. Lytvyn, P. (2014). Scanning Probe Microscopy in Practical Diagnostic: 3D Topography Imaging and Nanometrology in book Functional Nanomaterials and Devices for Electronics, Sensors and Energy Harvesting, Editors A. Nazarov, F. Balestra, V. Kilchitska, D. Flandre. Springer International Publishing, Switzerland, 179–219.8. Venger, S. F., Maslov, V. P., Semenets, O. I., Kachur, N. V., Kuschoviy, S. M. (2013). Zastosuvannya ploskogo або televizijnogo ekranu v stani vkluchennya v elektrichnu mereshu zhivlennya personalnogo komp'yutera або televizora yak dzherela polyarizovanogo viprominyuvannya. Patent Ukraini na korisnu model No 78911 opub. 10.04.2013, byul. No 7/2013.9. Kulkarni, A. K., Schulz, K. H., Lim, T. S., & Khan, M. (1999). Dependence of the sheet resistance of indium-tin-oxide thin films on grain size and grain orientation determined from X-ray diffraction techniques. Thin solid films, 345(2), 273–277.10. Wu, S., Zhang, Z., Zhang, Y., Zhang, K., Zhou, L., Zhang, X., & Zhu, Y. (2013). Enhanced rotation of the polarization of a light beam transmitted through a silver film with an array of perforated S-shaped holes. Physical review letters, 110(20), 207401.11. Kolomzarov, Yu. V., Maslov, V. P., Kravchenko, S. L., Zabudskiy V. V. (2005). Teploviziyiny neruynlvniy metod doslidzhennya prozorih tonkoplivkovih nagrивачiv. Kosmichna nauka i tehnologiya, T.11, No 5/6, 111–114.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Маслов Володимир Петрович – доктор технічних наук, професор, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, професор кафедри наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»;

Маслов Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, профессор кафедры научных, аналитических и экологических приборов и систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»;

Volodymyr Maslov – doctor of sciences, professor, V Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, professor of sciences, analytical and ecological devices and systems of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"; tel. +38 (044) 525-58-30; email: vpmaslov@ukr.net.

Литвин Петро Мар'янович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,

Литвин Петр Марьянович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины,

Lytvyn Petro – Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph. D), senior researcher at the V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, tel. +38 (044) 525-59-40; email: plyt2007@gmail.com.

Туру Тетяна Анатоліївна – асистент кафедри наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», тел.: +38 (044) 406-85-03

Туру Татьяна Анатольевна – ассистент кафедры научных, аналитических и экологических приборов и систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»,

Tyru Tatyana – Assistant of the Department of scientific, analytical and ecological devices and systems of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", email: kpi_naeps@ukr.net

Корчовий Андрій Адамович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,

Korchoviy Andriy Adamovich – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины,

Korchoviy Andriy – Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph. D), senior researcher at the V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, tel. +38 (044) 525-59-40; email: akorch@isp.kiev.ua.

Качур Наталія Володимирівна – молодший науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, тел.: +38 (044)525-58-30; email: natalykachur@gmail.com.

Kachur Nataliya Vladymyrovna – младший научный сотрудник Института физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, тел.: +38 (044)525-58-30; email: natalykachur@gmail.com.

Kachur Nataliya – researcher at the V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine,

Гурін Андрій Володимирович – провідний інженер Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, тел.: +38 (044) 525-61-88; email: plyt2007@gmail.com.

Gurin Andriy Vladymyrovich – ведущий инженер Института физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, тел.: +38 (044) 525-61-88; email: plyt2007@gmail.com.

Hurin Andriy – lead engineer Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine

УДК 621.762

А. Т. МАМЕДОВ, Ч. А. АЛИЕВ

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ ПОСЛЕ СПЕКАНИЯ И ГОРЯЧЕГО УПЛОТНЕНИЯ

В статье приведены результаты исследований композиций «металлы-оксиды-связующее», получаемых холодным прессованием следующих компонентов: порошок железный, частицы оксида Fe_2O_3 , смола СОРЖ-3031. После чего композиции были подвергнуты дополнительным операциям. Для достижения высокой плотности прессовок были осуществлены три технологических варианта: спекание, горячее прессование и горячая осадка. Установлено, что уплотнение прессовок в этих операциях имеет сложный характер и зависит от доли оксида в составе композиций.

Ключевые слова: структура, свойства, композиция, спекание, прессование, усадка, оксидная фаза, водород.

Введение. Изготовление из композиций типа «металл-оксид-связующее» путем холодного прессования указанных компонентов с последующим спеканием или горячим прессованием и осадкой антифрикционных деталей, например, уплотнительных колец является серьезной научно-технической задачей. Так, например, требуется рациональный выбор доли каждого составляющего композиции с учетом дисперсности их частиц. Кроме того представляет интерес изучение вклада холодного прессования композиций и дополнительных операций уплотнения прессовок на структуру и свойства материала. Наличие оксида железа и углеродсодержащего связующего в шихте композиций на основе железа может интенсифицировать процессы восстановления, уплотнения и упрочнения заготовок на операциях нагрева. Иными словами наличие оксида может привести к активированному спеканию композиции.

Поэтому исследование оксидо-углеродсодержащих порошковых композиций интересно также с точки зрения получения заготовок высоких плотности и прочности путем спекания.

С учетом публикаций [1-6], посвященных изучаемому вопросу, при планировании и проведении исследований предполагалось изучения влияния на вышеуказанные процессы специфических факторов разрабатываемой технологии. К ним относятся высокая дисперсность компонентов композиций, связанная высокой дисперсностью первичных материалов

или высокой дисперсностью фаз, образующих при реакционном размоле, а также структура материалов, получаемых в результате низкотемпературного обжига композиций.

Методика проведения экспериментов. Рациональный состав композиции состоял из следующих компонентов, масс. %: оксид железа Fe_2O_3 с размерами частиц 0,2-0,4 мкм-42; порошок железный распыленный ПЖР2.28-42, смола СФЖ 3031-15,2 и стеарат цинка 0,18 %. Шихта композиции была подвергнута холодному прессованию под давлением 400 МПа. С целью получения прессовок высокой плотности были использованы три технологических варианта: спекание, компрессионные горячее прессование и горячая осадка.

Спекание изучалось на композициях, используемых для исследования процессов деструкции связующего и низкотемпературной термической обработки, а также на композициях для изучения влияния различных факторов на спекание. В композициях менялось соотношение между количеством железного порошка и отходов, дисперсность их компонентов, а также степень наполнения их компонентов, а также степень наполнения их твердой фазой (γ_1 и γ_2).

Из исследуемых композиций изготавливались образцы с наружным диаметром 31 мм, внутренним диаметром 15 мм высотой 4,5 мм и заготовки размерами 20x20x80 мм. На круглых образцах измерялись размеры, плотность, твердость, определялась струк

© А. Т. Мамедов, Ч. А. Алиев. 2015

тура и на прямоугольных образцах -механические свойства. Образцы нагревались без доступа воздуха для деструкции связующего, после чего в течение трех часов нагревались в среде вакуума при температуре 800⁰С. Далее образцы подвергали высокотемпературному спеканию в среде водорода или эндогаза. После чего измерялись размеры, плотность, механические свойства и изучалась структура.

Предел прочности на растяжение и относительное удлинение определялись на образцах по ГОСТ 1497-84, а структурные исследования с использованием методов рентгенографии, растровой и просвечивающей электронной микроскопии, металлографии.

Обсуждение результатов. Результаты экспериментов приведены на рис. 1. По оси абсцисс отложена величина отношения массы оксида к сумме масс оксида и металлической фазы в исходных композициях, умноженная на 100 %, а по оси ординат отношение фактической плотности образца к теоретической плотности образца к теоретической плотности углеродистой стали. Из рис. 1 видно, что количество оксида заметно влияет на относительную плотность спеченного материала.

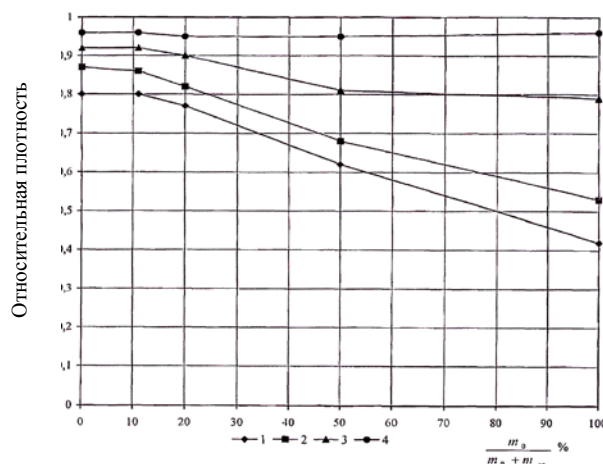


Рис. 1 – Влияние доли оксидной фазы в твердой составляющей исходных композиций на относительную плотность материалов, спеченных в водороде при температурах спекания: 1-1050⁰С; 2-1150⁰С; 3-1250⁰С; 4-1350⁰С

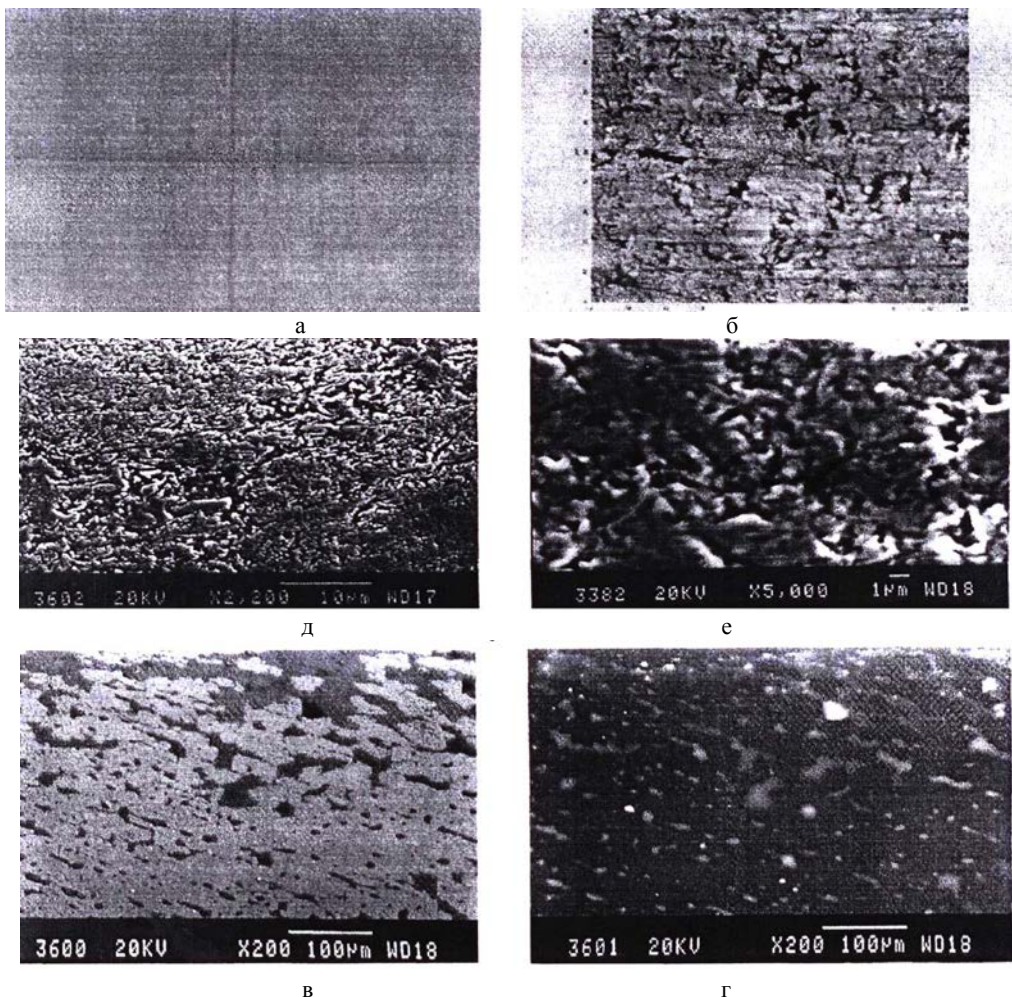


Рис. 2 – Структура композиции, спеченной в различных условиях: а - спекание в эндогазе при 1100⁰С, нетравленный; х500; б - спекание в эндогазе при 1100⁰С, травление в 5 % раствором HNO₃. Фотография на сканирующем зондовом микроскопе, площадь сканирования 100 ×100мкм² в - Спекание в водороде 1300⁰С, травление, обработка сенсбилизатором оксидирования, РЭМ×200, во вторичных электронах; г - Спекание в водороде 1300⁰С, травление, обработка сенсбилизатором оксидирования РЭМ×200 в отраженных электронах; д - спекание в водороде 1300⁰С, травление, РЭМ×2200; е - спекание в водороде 1300⁰С, травление, РЭМ×5000

Композиция состояла, % масс.: Оксид Fe₂O₃ с размерами частиц, 0,2-0,4мкм-42; порошок железный распыленный марки ПЖР2-28-42; смола СФЖ-3031-15,2; стеарат цинка-0,8.

Из рис. 1 видно, что зависимость уплотнения при спекании от состава композиций имеет сложный характер. При увеличении доли оксида от 0 до 11 % относительная плотность не меняется, а дальнейшее увеличение доли оксида она уменьшается. Это особенно заметно при относительно низких температурах изотермической выдержки (1050-1150⁰С).

Структура композиций, спеченных в этом интервале температур, представляет из себя губчатое железо, поры которого не просматриваются даже при увеличении 500 раз. После травления 5 %-ым раствором азотной кислоты и при увеличении в 1000 раз обнаруживается на сканирующем зондовом микроскопе поры размерами 1...10мкм (рис. 2, б), однако границы зерен не просматриваются. В структуре материала, спеченного при 1300⁰С, пор не обнаружены. Травление в растворе азотной и пикриновой кислоты границы зерен не обнаруживает (рис. 2, в, г). Серые пятна в отраженных электронах свидетельствуют о наличии на поверхности окисленной пленки. Границы зерен не выявлены (рис. 2, д, е).

Можно предположить, что пространство между частицами железа дополнено губчатым железом. Исходя из этого, можно рассчитывать величину объемной усадки при различных значениях γ_1 и γ_2 .

Содержание железа в 1см³ прессовки составит:

$$m_{ж} = 7,8 \cdot \gamma_1 + 5,24 (1 - \gamma_1) \cdot \gamma_2 \cdot 0,7, \tag{1}$$

где γ_1 – объемное содержание железа в композиции; γ_2 – объемное содержание оксида в связующем.

При деструкции связующего и спекании происходит суммарное изменение объема на величину ΔV , тогда объем 1см³ прессовки составит 1- ΔV .

Плотность образца после восстановления оксида и спекания будет:

$$\rho = \frac{7,8 \cdot \gamma_1 + 5,24(1 - \gamma_1) \cdot \gamma_2 \cdot 0,7}{1 - \Delta V} \tag{2}$$

Плотность губчатого железа, образовавшегося из оксидов в межчастичном пространстве:

$$\rho_{г.ж.} = \frac{5,24(1 - \gamma_1) \cdot \gamma_2 \cdot 0,7}{1 - \Delta V - \gamma_1} \tag{3}$$

Условия полного спекания ($\rho = \rho_{г.ж.}$) запишется в виде:

$$\Delta V = (1 - \gamma_1) (1 - 0,47 \gamma_2) \tag{4}$$

Результаты расчета величин ΔV приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Теоретические значения объемной усадки, обеспечивающие равномерную плотность

$\gamma_1 \backslash \gamma_2$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0,1	0,86	0,815	0,77	0,73	0,69	0,65
0,2	0,76	0,72	0,69	0,65	0,61	0,57
0,3	0,67	0,63	0,60	0,57	0,53	0,50
0,4	0,57	0,54	0,515	0,49	0,46	0,43
0,5	0,48	0,45	0,43	0,405	0,38	0,36
0,6	0,38	0,36	0,34	0,325	0,305	0,29

Исходя из табл. 1 можно сделать предположение о том, что при различных γ_2 / γ_1 механизм спекания может быть различным. При больших γ_2 / γ_1 , т. е. большом содержании оксида кинетика спекания контролируется механизмом спекания губчатого железа, а при малом уплотнение при спекании идентичен спеканию чистого порошка железа. При средних содержаниях оксида реализуется промежуточный вариант.

Для определения плотности губчатого железа после спекания композиций различного состава был проведен его расчет в зависимости от объемного содержания оксида и различной дисперсности железного порошка.

Прессовки изготавливались из распыленного, железного порошка марки ПЖР2-200 со средним размерами частиц около 100мкм и оксида (Fe₂O₃) с размерами частиц 0,2-0,4мкм путем холодного прессования.

Расчет вели в следующей последовательности:

1. Объемный состав прессовок:

$$V_{пр} = V_{ж.п.} + V_{окс} + V_{св.},$$

где $V_{ж.п.}$, $V_{окс}$ и $V_{св.}$ – соответственно объем железного порошка, оксида и связующего, см³.

$$V_{ж.п.} = \frac{m_{ж.п.}}{7,8}; \quad V_{окс} = \frac{m_{окс}}{5,24}; \quad V_{св.} = \frac{m_{св.}}{1,3},$$

где $m_{ж.п.}$, $m_{окс}$ и $m_{св.}$ – соответственно масса железного порошка, оксида и связующего.

2. Экспериментально определяли объем спеченной заготовки:

$$V_{сп} = V_{ж.п.} + \frac{V_{окс} \cdot 5,24 \cdot 0,7}{7,8} + V_{пор}.$$

Второй член уравнения есть объем железа, ($V_{ж.в.}$), полученного в результате восстановления оксида, а $V_{пор.}$ – объем пор в спеченной прессовке.

$V_{пор.} + V_{ж.в.}$ – объем губчатого железа, полученного в результате восстановления оксида и последующего спекания.

3. Плотность ($\rho_{г.ж.}$) рассчитывалась по формуле:

$$\rho_{г.ж.} = \frac{m_{окс} \cdot 0,7}{V_{сп} - V_{ж.п.}}$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что введение в композицию железного порошка приводит к снижению плотности губчатого железа. Это снижение увеличивается с увеличением размеров частиц порошка железа. Это противоречит результатам, приведенным на рис. 1. Одна-

ко следует различать рост плотности прессовки от роста плотности губчатого железа. Ввод железного порошка, с одной стороны, уменьшает плотность губчатого железа, а с другой повышает плотность прессовки за счет увеличения объемного содержания плотной фазы. Уменьшение плотности губчатого железа при наличии в нем частиц железа более низкой дисперсности очевидно можно объяснить тем, что они препятствуют усадке.

Обращает на себе факт наличия низкой плотности губчатого железа, не соответствующая имеющимся порам (рис. 2. а, б). Это, видимо, объясняется тем,

что частицы губчатого железа, полученные восстановлением высокодисперсного оксида, обладают высокой пористостью, не обнаруживаемой даже при увеличении в 5000 раз. Исследование тонкой структуры частиц восстановленного железа, на микроскопе ИНТЕГРА Прима показали, что размеры восстановленного железа составляют 100-300нм (рис. 3).

Между этими частицами просматриваются частицы размерами до 100нм. Наличием таковой структуры, видимо, объясняется низкая плотность губчатого железа, спеченного при температуре 1100°C.

Таблица 2 – Результаты расчетов плотности

No композиции	$\frac{Fe_2}{Fe_1 + Fe_2}$	Плотность при температурах, г/см ³	
		1050°C	1150°C
1	1	3,28 (3,28)	4,13 (4,13)
2	0,41	3,11 (4,68)	3,68 (5,07)
3	0,41	2,34 (4,06)	3,0 (4,68)

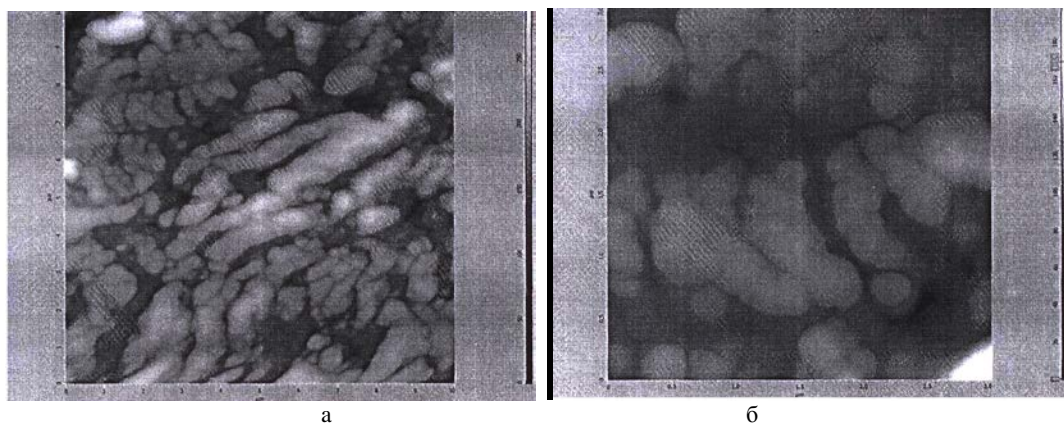


Рис. 3 – Структура частиц губчатого железа: а - площадь сканирования, 10×10 мкм; б - Площадь сканирования, 3×3 мкм

Выводы

1. Уплотнение при спекании в зависимости от состава композиций имеет сложный характер. При увеличении доли оксида в составе композиций от 0 до 11 % относительная плотность не изменяется. Дальнейшее увеличение количества оксида приводит к снижению плотности. Эта закономерность проявляется в большей мере при низких температурах изотермической выдержки (1050-1150°C).

2. Введение в состав композиций железного порошка приводит к уменьшению плотности губчатого железа. Это снижение увеличивается с увеличением размеров частичек железного порошка.

Список литературы: 1. Skorohod, V. V. Kinetic Equation for Densification, Grain Growth and Diffusion Alloying at Liquid-Phase Sintering of Multi-Component Systems [Text] / V. V. Skorohod // Proc. of PM-2004 World congress, Vienna, Oct. 17–21, 2004. – Vol. 2. – P. 87–94. 2. Кадушников, Р. Н. Компьютерное моделирование эволюции микроструктуры двухфазных полидисперсных материалов при спекании [Текст] / Р. Н. Кадушников, В. В. Скороход, О. Б. Лыкова // Порошковая металлургия. – 1983. – №4. – С. 13–20. 3. Скороход, В. В. Структурная динамика, реология и макрокинетика спекания высокодисперсных порошков [Текст] / В. В. Скороход // В кн. Свойства и применение дисперсных порошков // Киев. Наукова Думка, 1986. – С. 91–98. 4. Скороход, В. В. Реологические основы теории спекания [Текст]: Киев: Наук.думка, 1972. – 150 с. 5. Тучинский, Л. И. Спекание капиллярно-пористых материалов на основе карбонильного железа [Текст] / Л. И. Тучинский, С. А. Захаров, Н. П. Павленко

// Порошковая металлургия. –1994. – №3. – С. 24–29. 6. Гегузин, Я. Е. О взаимосвязи процессов рекристаллизации и гомогенизации в двухкомпонентных смесях ультрадисперсных порошков [Текст] / Я. Е. Гегузин, Л. Н. Парицкая // В кн. Свойства и применение дисперсных порошков. Киев: Наукова Думка, 1986. – С. 114–127. 7. Мамедов, А. Т. Конструкционные и антифрикционные порошковые материалы [Текст] / А. Т. Мамедов. – Баку, Элм, 2005. – 460 с. 8. Дорофеев, Ю. Г. Конструкционные порошковые материалы и изделия [Текст] / Ю. Г. Дорофеев, и др. – М.: Металлургия, 2006. – 244 с. 9. Шамта, В. М. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы [Текст] / В. М. Шамта. – М.: Металлургия, 2003. – 520 с. 10. Федорченко, И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы [Текст] / И. М. Федорченко, Л. И. Пузина. – Киев: Наукова думка, 1980. – 409 с.

Bibliography (transliterated): 1. Skorohod, V. V. (2004). Kinetic Equation for Densification, Grain Growth and Diffusion Alloying at Liquid-Phase Sintering of Multi-Component Systems. Proc. of PM-2004 World congress, Vienna, Oct. 17–21, Vol. 2, 87–94. 2. Kadushnikov, R. N., Skorohod, V. V., Lykova, O. B. (1983). Kompyuternoe modelirovanie evolyucii mikrostruktury dvuxfaznykh polidispersnykh materialov pri spekanii. Poroshkovaya metallurgiya, No4, 13–20. 3. Skorohod, V. V. (1986). Strukturnaya dinamika, reologiya i makrokinetika spekaniya vysokodispersnykh poroshkov. V kN. Svoystva i primeneniye dispersnykh poroshkov. Kiev. Naukova Dumka, 91–98. 4. Skorohod, V. V. (1972). Reologicheskie osnovy teorii spekaniya. Kiev: Naukova dumka, 150. 5. Tuchinskij, L. I., Zaxarov, S. A., Pavlenko, N. P. (1994). Spekanie kapillyarno-poristykh materialov na osnove karbonilnogo zheleza. Poroshkovaya metallurgiya, No3, 24–29. 6. Geguzin, Ya. E., Parickaya, L. N. (1986). O vzaimosvyazi processov rekristallizacii i gomogenizacii v dvuxkomponentnykh smesyax ultradispersnykh poroshkov. V kn. Svoystva i primeneniye dispersnykh poroshkov. Kiev: Naukova Dumka, 114–127. 7.

Mamedov, A. T. (2005). Konstrukcionnyye i antifrikcionnyye poroshkovyye materialy. Baku, Elm, 460. 8. Dorofeev, Yu. G. i dr. (2006). Konstrukcionnyye poroshkovyye materialy i izdelya. Moscow, Metallurgiya, 244. 9. Shatta, V. M. (2003). Poroshkovaya metallurgiya. Spechennyye i

kompozicionnyye materialy. Per. s nem. Pod red. Moscow, Metallurgiya, 520. 10. Fedorchenko, I. M., Pugina, L. I. (1980). Kompozicionnyye spechennyye antifrikcionnyye materialy. Kiev, Naukova dumka, 409.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мамедов Ариф Тандыг оглы – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Конструкционные материалы» Азербайджанский Технический Университет, пр. Г. Джавида, 25, г. Баку, Азербайджан, AZ1073.

Мамедов Ариф Тандыг Оглу – доктор технічних наук, завідувач кафедрою «Конструкційні матеріали» Азербайджанський технічний університет, пр. Г. Джавида, 25, м. Баку, Азербайджан, AZ1073.

Mamedov Arif Tapdig oglu – doctor of science department of Materials Konstruktion Engineering Technical University, Huseyn Djavid str. 25, Baku, Azerbaijan, AZ1073.

Алиев Чингиз Ариф оглы – докторант кафедры «Конструкционные материалы» Азербайджанский Технический Университет, пр. Г. Джавида, 25, г. Баку, Азербайджан, AZ1073.

Алиев Чингиз Ариф оглу – докторант кафедри «Конструкційні матеріали», Азербайджанський технічний університет, пр. Г. Джавида, 25, м. Баку, Азербайджан, AZ1073.

Aliyev Ch. Arif oglu – doctorant of science department of Materials Konstruktion Engineering Technical University, Huseyn Djavid str.25, Baku, Azerbaijan, AZ1073.

УДК: 621.373.826

А. М. АЛЬ-СУДАНИ ХАЙДЕР

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ГИРОСКОПОВ

Фотонно-кристаллические волокна играют главную роль в разработке новых волоконно-лазерных источников сверхкоротких световых импульсов и создания компонентов волоконного формата для контроля таких импульсов. Волоконно-оптический гироскоп – это одна из сфер применения оптических волокон, зависящая главным образом от эффекта Саньяка. Она принадлежит к важным сферам применения в области космической навигации. В этой статье мы предложили использовать фотонно-кристаллическое волокно с полым сердечником 1550nm, Ø10 мкм в оптическом гироскопе. Фотонно-кристаллические волокна демонстрируют специфические свойства и возможности, которые приводят к огромному потенциалу для использования в области измерений.

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, эффект Саньяка, фотонно-кристаллическое волокно с полым сердечником

Введение. Благодаря своей уникальной геометрической структуре фотонно-кристаллические волокна демонстрируют специфические свойства и возможности, которые приводят к огромному потенциалу для использования в области измерений. Разнообразие необычных особенностей фотонно-кристаллических волокон, сверх того, что могут предложить традиционные волокна, приводит к увеличению возможностей для новых и улучшенных датчиков. Научное сообщество проявляет огромный интерес к этой оригинальной технологии для применения в различных областях. Целью данной работы было проведение теоретических исследований условий использования фотонно-кристаллического волокна (ФКВ) как части волоконно-оптического гироскопа. С развитием оптоэлектронной технологии [1] оптические волокна интенсивно исследовались в различных полях обнаружения благодаря их уникальным характеристикам, таким как мультиплексирование, дистанционное измерение, высокая гибкость, низкая потеря сигнала, высокая чувствительность, низкая стоимость изготовления, малый форм-фактор, высокая точность, возможность одновременных измерений и устойчивость к электромагнитным помехам. Это действительно так для фотонно-кристаллических волокон (ФКВ), также называемых дырчатыми волокнами, которые содержат ряды крошечных воздушных отверстий вдоль своей структуры и позволяют, в числе других новых сфер применения, создавать новые волоконно-оптические датчики. Благодаря гибкости для кон-

струкции поперечного сечения фотонно-кристаллические волокна (ФКВ) [2] добились отличных свойств в части двойного лучепреломления [3], дисперсии [4], одиночной моды одиночной поляризации [5], нелинейности и эффективной площади мод [6], а также отличные показатели в применении волоконных датчиков [7], волоконных лазеров и нелинейной оптики [8] в течение последних нескольких лет. Большое количество научно-исследовательских работ выделяли некоторые оптические свойства ФКВ, такие как сверхвысокое двойное лучепреломление и уникальная хроматическая дисперсия, которые почти невозможны для традиционных оптических волокон. Несколько лет спустя, в 1991 году, Яблоневич и его коллеги изготовили первый фотонный кристалл, механически просверливая отверстия с миллиметровым диаметром в блок материала с показателем преломления, равным 3,6 [9]. В 1995 году Биркс и др. предложили волокно с воздушными отверстиями по его длине, которое могло направлять свет сквозь эту структуру с интересными свойствами [10]. В настоящее время ФКВ стало предметом обширных исследований и открыло новый диапазон возможных сфер применения. Структура ФКВ позволяет иметь различные типы волокон, такие как бесконечное одномодовое, с двойной оболочкой, германиевое или легированное редкоземельными элементами, с высоким двойным лучепреломлением и многие другие с особыми параметрами благодаря его технологической

©А. М. Аль-Судани Хайдер. 2015

гибкости. Такое разнообразие вариантов позволяет использовать ФКВ в многочисленных сферах, таких как датчики, которые измеряют физические параметры (температура, давление, сила и т.д.), химические соединения в газе и жидкости и даже биосенсоры [11].

Цель и задачи исследования. В части волокон с поллой сердцевиной реализовать их потенциал и преимущества по сравнению с традиционными волокнами в волоконно-оптических гироскопах. Большая длина волон в гироскопах с ФКВ, как правило, обеспечивает повышенную чувствительность измерения. Уровни потерь по току у полых волокон, предназначенных для одномодовой передачи, ограничивают длину волон. Хотя больше всего света распространяется в воздухе, часть, которая взаимодействует со стенкой поллой сердцевины из диоксида кремния, претерпевает рассеяние и действие других механизмов потерь из-за изъянов на этой границе.

Волонка с поллой сердцевиной, описанные здесь, были разработаны с геометрией для диаметра по стеклу или покрытию, такого же, как у традиционных телекоммуникационных волокон. При применении в гироскопах с ФКВ наматывание большого количества витков выигрывает от волонка с уменьшенным диаметром, например, волонка с диаметром по стеклу 80 мкм, которое является типичным для многих гироскопов с ФКВ. Волонка с поллой сердцевиной обеспечивают повышенную чувствительность к изгибам, создающую возможность для катушек с более тугой намоткой, но требуют модернизации диаметра волонка для дальнейшего уменьшения пространства, занимаемого волонком на катушке. Это потребует, чтобы проектирование и разработка гарантировали, что уменьшенный размер не ухудшит оптические параметры, обеспечиваемые специальными запрещёнными зонами сердцевины и оболочки.

Волонко с поллой сердцевиной предлагает поверхность раздела с низкими отражательными характеристиками, предлагая повышенную стабильность. Там, где конструкции требуют альтернативной поверхности раздела, например, склейки, механического соединения или другого типа, понадобится контролировать отражения и механическую целостность поверхности раздела.

Фотонно-кристаллические волонка с поллой сердцевиной (ПС-ФКВ) (НС-PCF). Фотонно-кристаллические волонка с поллой сердцевиной – это оптические волонка с оболочками из стекла, включающего ряды воздушных отверстий. Сердцевина образована путём исключения нескольких ячеек материала из оболочки. «Дырчатая» оболочка имеет двухмерную фотонную запрещённую зону, которая может удерживать свет в сердцевине для длин волн примерно как длина волн с минимальными потерями λ_c , даже когда сердцевина полая и заполнена воздухом [12]. В отличие от этого традиционное волонко направляет свет посредством полного внутреннего отражения, так что его сердцевина должна иметь более высокий показатель преломления, чем оболочка. Как правило, эта заготовка сначала вытягивается в стержень с диаметром, например, 1 мм, а после этого в волонко с конечным диаметром, например, 125 мкм. Особенно мягкие стёкла и полимеры (пластики) также позволя-

ют изготавливать заготовки для фотонно-кристаллических волокон методом экструзии [13]. Существует большое разнообразие расположений отверстий, что приводит к ФКВ с очень разными свойствами. Все эти ФКВ можно рассматривать как специализированные волонка. В этой статье использован тип Фотонно-кристаллических волокон с поллой сердцевиной, 1550 нм, Ø10 мкм, Фотонно-запрещённые световоды с поллой сердцевиной направляют свет в поллой сердцевины, окруженной микроструктурированной оболочкой из воздушных отверстий и диоксида кремния. На рис. 1 показано типичное дисперсия.

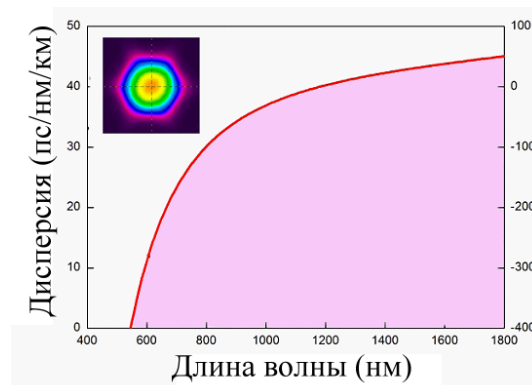


Рис. 1 – Типичные дисперсия

Если поперечный масштаб Полых фотонно-кристаллических волокон изменяется без других изменений структуры волонка, длина волн λ_c минимального затухания должна пропорционально масштабироваться [14]. Без обращения к приближениям из предыдущего раздела, среднеквадратичная амплитуда компонента шероховатости, который соединяет свет в моды с эффективными показателями между n и $n+\delta n$ - это затухание в этих модах и оно пропорционально u^2 [15], но единственный другой независимый масштаб длин, в зависимости от которого она может варьироваться - это λ_c .

$$u^2 = \frac{k_B T}{4\pi\gamma(n-n_0)} \coth\left(\frac{(n-n_0)kW}{2}\right) \delta n, \quad (1)$$

где: γ - поверхностное натяжение, k_B - Постоянная Больцмана, T - Температура,

Поскольку затухание имеет единицы обратной длины, оно, следовательно, путём размерного анализа, должно быть обратно пропорционально кубу λ_c .

$$\alpha(\lambda_c) \approx \frac{1}{\lambda_c^3} \quad (2)$$

Если это верно для каждого множества мод назначения, это должен быть верно и для чистого затухания α для всех мод назначения, так что это уравнение (феноменологическое описанное в [16], но без теоретического основания) прогнозирует затухание данного волонка, вытянутого для работы при разных длинах волн. Результат отличается от знакомой зависимости рэлеевского рассеяния $1/\lambda^4$ в насыпных средах [17], и, что важно, относится к неоднородностям на всех масштабах длины, не только небольших по сравнению с λ . Мы измерили спектры затухания методом редуцирования. Длина редуцирования, по

крайней мере 50 м, позволила переходным вытекающим модам затухнуть, так что измеряется только основная мода. Для набора аналогичных Полых фотонно-кристаллических волокон мы определили минимальное затухание как функцию длины волны λ_c минимума. Волокна имели сердцевинны с 7 ячейками, но были вытянуты до разных масштабов, что дало им различное λ_c , но в остальном - сопоставимые свойства [14]. Минимальное затухание построено на рис. 2 в зависимости от λ_c на двойной логарифмической шкале. Аппроксимация прямой линией показана и имеет уклон, равный -3,07, поддерживая спрогнозированную обратную кубическую зависимость в Уравнении (6).

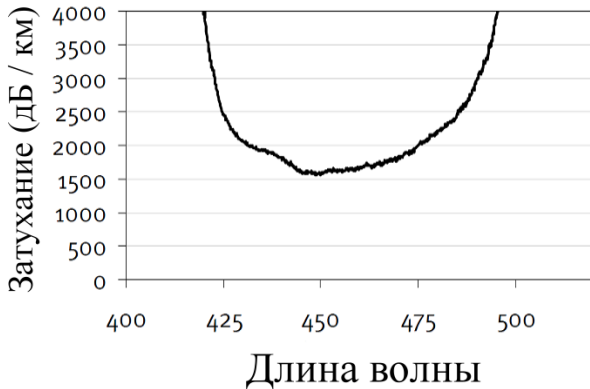


Рис. 2 – Затухание спектр фотонного кристалла волокна (дБ / км)

Минимальное оптическое затухание $\sim 0,15$ дБ/км в традиционных волокнах [18] определяется фундаментальными процессами рассеяния и поглощения в стекле высокой чистоты [17], оставляя небольшие перспективы для значительных улучшений. Тем не менее, более 99% света в ПС-ФКВ может распространяться в воздухе [16] и избежать этих механизмов потерь, что делает Полые фотонно-кристаллические волокна перспективным вариантом в качестве будущих телекоммуникационных волокон со сверхнизкими потерями. Тем не менее, самая низкая потеря, описанная для Полых фотонно-кристаллических волокон, составляет 1,7 дБ/км [16], хотя с тех пор мы сократили её до 1,2 дБ/км. Следовательно, понимание фундаментальных ограничений этой потери имеет большое значение. Так как только небольшая часть света распространяется в диоксиде кремния, эффект нелинейностей материала незначителен, и волокна не страдают от тех же ограничений в части потерь, как традиционные волокна, изготовленные только из сплошного материала.

Волоконно-оптический гироскоп. Волоконно-оптические гироскопы основаны на эффекте Саньяка. Эффект Саньяка генерирует разность оптических фаз, $\Delta\phi$, между двумя противоположно направленными волнами во вращающейся волоконной катушке (оптический путь) [19].

Рис. 3 показывает, что волоконно-оптические гироскопы - это самые простые датчики вращения. Они широко используются в промышленном масштабе, где их пределы в части динамического диапазона и линейности не накладывают ограничений.

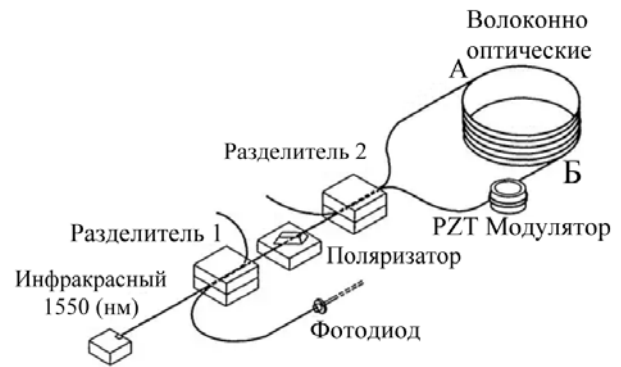


Рис. 3 – Схема волоконно-оптических гироскопов

На протяжении контура угловой скорости вращения (Ω) изменяется видимое расстояние между точками А и В для противоположно движущихся лучей. Для волны, движущейся из точки А в точку В, то есть в направлении, совпадающем с направлением вращения контура, расстояние увеличивается, тогда как за время dt точка В движется к углу ($d\phi = \Omega \cdot dt$). Это когда удлинение пути светового луча равно dt , так как в каждый момент луч направлен по касательной к контуру при той же направленной проекции тангенциальной линейной скорости ($\vec{v} = \vec{v} \cdot \cos \alpha = \Omega \cdot r \cdot \cos \alpha$). Таким образом, длина пути, проходимого лучом, равна $Dl + \dot{v} dt$. Рассуждая аналогично, для противоположно направленного движущегося луча света будет иметь место уменьшение отрезка видимой траектории $Dl - \dot{v} dt$. Учитывая инвариантную величину скорости света, видимое удлинение и сокращение путей для противоположно направленных лучей могут рассматриваться как эквивалентные расширениям и сужениям временных интервалов, т.е.

$$\Delta t_1 = \frac{1}{c} (\Delta l + v \cdot dt) \tag{3}$$

$$\Delta t_2 = \frac{1}{c} (\Delta l - v \cdot dt) \tag{4}$$

Если относительная задержка противоположно направленных волн, возникающих при вращении, выражается через разность фаз противоположно направленных волн, то это будет

$$\Delta\phi = \omega \cdot \Delta\tau = \frac{4 \cdot \omega \cdot S}{c^2} \cdot \Omega = \frac{8 \cdot \pi \cdot v \cdot S}{c^2} \cdot \Omega = \frac{8 \cdot \pi \cdot S}{\lambda \cdot c} \cdot \Omega \tag{5}$$

где: ($\Delta\phi$) - разность фаз, Ω - угловая скорость, c - свет - / скорость сигнала, λ : длина волны, S : масштабный фактор, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot v$,

В волоконно-оптическом гироскопе оптическое волокно используется как среда распространения для ИК 1550 нм. Длинный волоконно-оптический кабель наматывается в петли, чтобы увеличить эффективную площадь системы. Два луча снова распространяются по волокну в противоположных направлениях. Из-за эффекта Саньяка луч, движущийся против вращения, испытывает немного более короткую задержку распространения сигнала, чем другой луч. Поскольку оптическое излучение распространяется в материальной

среде, и оно относится к оптическому волокну, которое изготовлено из кварца или кварцевого стекла, такие физические явления, как эффект двойного лучепреломления, эффект Керра, эффект Фарадея и т.д. неблагоприятно влияют на угол вращения петли волоконно-оптических гироскопов и фиксируемую фазу оптического сигнала. Эти эффекты, связанные с процессом распространения оптического излучения в материале оптической среды, приводят к сдвигу фаз противоположно направленных волн, что не связано с вращением замкнутой петли. Негативные эффекты также связаны с процессами рассеяния и отражения света в оптическом пути, эффектом поляризационной невязанности, связанным с несимметричным расположением анизотропных элементов по отношению к центру петли волокна, или анизотропными свойствами волокна. Эта проблема была решена, и решена с помощью частотной и фазовой модуляции оптического излучения, что позволяет сместить нулевую точку на уклоне с максимальным уклоном сигнала помех. Получающийся в результате дифференциальный фазовый сдвиг измеряется посредством интерферометрии, таким образом, переводя один компонент угловой скорости в сдвиг интерференционного узора, который измеряется фотометрически.

Интерферометр на основе фотонно-кристаллических волокон. Главный аргумент в пользу замены оптического волокна на другую среду состоит в том, что первые опыты Саньяка проводились в полой трубке и воздух с низким давлением не демонстрирует эффекты, проявляющиеся в оптическом волокне. В связи с этим, очевидно, что использование такой оптической среды, которая, с одной стороны, позволила бы направляться оптическому излучению, а с другой стороны, не изменяла бы его частотных и фазовых характеристик. Такие среды включают фотонные кристаллы с дефектами. В таких средах дефект представляет собой полый волновод. Изготовленное фотонно-кристаллическое волокно имеет показатель преломления 1,82 при длине волны 500 нм для этого типа волокна. Эффективное одномодовое распространение типа «кагоме» происходит в диапазоне длин волн от 750 до 1050 нм в диаметре в основном 30 микрон и при потере около 0,7 дБ/м [20] (рис.4).

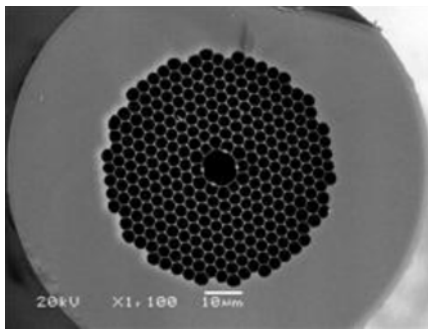


Рис. 4 – Пример фотонного кристалла волокна с полой сердцевины диаметром около 30 микрон

Разрушившиеся зоны в ФКВ вызывают расширение луча, когда он распространяется от одномодового оптического волокна (SMF) в ФКВ [14,15]. Рас-

ширение луча в сочетании с осевой симметрией и модовыми свойствами ФКВ - вот что делает возможным возбуждение (и рекомбинацию) мод, которые имеют аналогичную азимутальную симметрию [17]. Моды, возбуждаемые в ФКВ, имеют разные эффективные показатели (или различные константы распространения), таким образом, они движутся с различными скоростями. В результате, моды накапливают разность фаз, по мере того, как они распространяются по ФКВ. В связи с возбуждением и рекомбинацией мод в устройстве, спектр отражения, как ожидается, демонстрирует ряд максимумов и минимумов (интерференционный узор). Когда две моды участвуют в интерференции, интенсивность прошедшего или отраженного излучения (I) может быть выражена как:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\Delta\phi) \quad (6)$$

В Уравнении (7) I_1 и I_2 – это, соответственно, интенсивность моды сердцевины и моды оболочки, а $\Delta\Phi = 2\pi\Delta nL/\lambda$ - это полный сдвиг фазы. $\Delta n = n_f - n_c$, при этом n_f и n_c являются, соответственно, эффективным показателем преломления моды сердцевины и моды оболочки. L - это физическая длина ФКВ, а λ - это длина волны источника света. Шаг полос и период (P) интерференционного узора описывается формулой $P = \lambda^2/(\Delta nL)$. Максимумы интерференционного узора появляются при длинах волн, удовлетворяющих условию $\Delta\Phi = 2m\pi$, с $m = 1, 2, 3, \dots$ Это значит, при длинах волн, описываемых

$$\lambda_m = \Delta n \frac{L}{m} \quad (7)$$

Контраст полос или видимость (V) модового интерферометра является важным параметром, в частности, когда интерферометр используется для измерений. Как правило, желательна более высокая видимость, так как она приводит к более высокому отношению сигнал/помеха и более точному измерению. Видимость двухмодового интерферометра может быть рассчитана по известной формуле: $V = (I_{\max} - I_{\min})/(I_{\max} + I_{\min})$, где I_{\max} и I_{\min} - это соответственно, максимальное и минимальное значения I в Уравнении (7). В соответствии с определением и Уравнением (7) V может быть выражено как [18]:

$$V = \frac{2\sqrt{k}}{(1+k)}, \quad (5)$$

где: $k = I_1/I_2$.

Многие исследовательские группы предпочитают контраст полос (выраженный в дБ), а не видимость. Контраст полос (FC) определяется здесь как $FC = -10\log(1-V)$. На рис. 5 показана зависимость контраста полос от k наряду с теоретическим интерференционным узором устройства с $L = 10$ мм для двух значений k . Можно отметить, что контраст полос увеличивается по мере того, как k приближается к 6, то есть когда две моды, которые участвуют в интерференции, имеют равные интенсивности. Рис. 5. Контраст полос в моде интерферометра как функция k или соотношения интенсивности моды оболочки к интенсивности моды сердцевины. Вставка показывает теоретический спектр отражения в случае $k=0,4$ (пунктирная линия) и $k=0,96$ (сплошная линия).

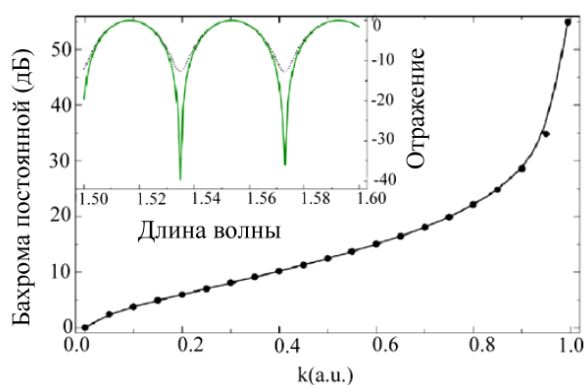


Рис. 5 – Бахрома контраст в режиме интерферометра

Физический механизм для волноводного распространения излучения в фотонных волокнах не связан с явлением полного внутреннего и с наличием фотонной запрещенной зоны в спектре пропускания оболочки волокна. Волноводы этого типа перспективны для создания газовых датчиков, спектральных элементов, а также управления атомами с лазерным охлаждением. Экспериментальные исследования показали, что в некоторых случаях [21] Относительно высокая потеря оптических волокон с воздухом в сердцевине происходит благодаря рассеянию света неоднородностями поверхности стекла из-за застывших капиллярных волн. Решение для снижения оптических потерь фотонных волокон требует дальнейшего фундаментального исследования, однако, мы уже можем использовать небольшие части фотонных волокон в специальных измерительных приборах, которые включают ВОГ. Фотонно-кристаллическое волокно – это двумерная фотонно-кристаллическая структура, основанная на композиции «кварцевое стекло – воздух», сформированной в оболочку.

Распространение оптического излучения в дефекте фотонного кристалла. В работе [22] были подробно рассмотрены условия формирования фотонно-кристаллических волокон и распространение в них оптического излучения. Экспериментальные исследования ФКВ были проведены в ряде исследований, например, [23]. Фотонные запрещенные зоны, возникающие в спектре пропускания двумерной периодической оболочки, обеспечивают высокий коэффициент отражения для излучения, распространяющегося вдоль полой сердцевины, осуществляя волноводное распространение моды. В работе [23] приведены результаты экспериментального определения распределения интенсивности оптического излучения в центре поперечного сечения дефекта и результаты численного расчёта распределения плотности энергии в поперечном сечении. Эти результаты показаны на рис. 6.

На сегодняшний день опубликованы исследования об условиях использования ФКВ для передачи оптических информационных сигналов в телекоммуникационных системах, однако использование ФКВ в оптических интерферометрах только начали изучать для прецизионных измерений некоторых физических величин. В работе [24] – результаты измерения напряжения с помощью цилиндрического ФКВ, которое формируется с помощью интерферометра.

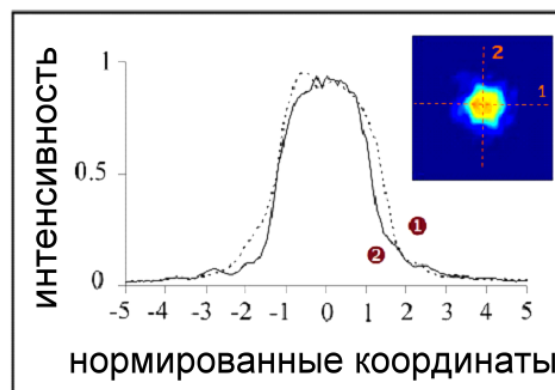


Рис. 6 – Распределение мощности с полой сердцевиной ФКВ

Для описания работы волоконно-оптического гироскопа на основе ФКВ нужно использовать описание оптических волн, распространяющихся вдоль двумерного дефекта фотонного кристалла [25]. Нужно реализовать необходимый волоконно-оптический гироскоп на основе ФКВ с минимальной потерей менее 1 дБ/км, который распространяет одномодовое излучение. Эти волокна включают в себя, например, имеющийся на рынке РСФ - HC19-1550 (0,03 дБ/км) или LMA -25 (1,5 дБ/км), работающие при 1550 нм. Низкий уровень поглощения в этих волокнах позволяет создать на их основе многовитковую кольцевую интерферометр, который реализует эффект Саньяка. Основная техническая проблема в применении ФКВ – это соединение отдельных элементов ФКВ. Вот некоторые отличительные особенности сборки волоконно-оптического интерферометра.

Выводы. Гироскопы на основе фотонно-кристаллических волокон - это вид оптических гироскопов, которые демонстрируют разнообразие новых и усовершенствованных характеристик сверх того, что могут предложить традиционные волоконно-оптические гироскопы. Благодаря своей уникальной геометрической структуре, фотонно-кристаллические волокна демонстрируют особые свойства и возможности, которые приводят к огромному потенциалу в области измерений. В статье обсуждается использование фотонно-кристаллического волокна с полой сердцевиной, 1550 nm, Ø10 мкм в оптическом гироскопе. Они могут обеспечить реальную диэлектрическую изоляцию между датчиком и системой опроса в присутствии очень высоких электромагнитных полей. В соответствии с этими характеристиками мы можем устранить много проблем, которые существуют в традиционном волоконно-оптическом гироскопе, и получить более хорошие и более точные результаты в тех же условиях при использовании Фотонно-кристаллических волокон.

Список литературы: 1. Knight, J. C. (1996). All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding [Text] / J. C. Knight, T. A. Birks, P. S. J. Russell, D. M. Atkin // Optics Letters. – 1996. – Vol. 21 (19). – P. 1547–1549. doi: 10.1364/ol.21.001547 2. Chau, Y.-F. (2010). A comparative study of high birefringence and low confinement loss photonic crystal fiber employing elliptical air holes in fiber cladding with tetragonal lattice [Text] / Y.-F. Chau, C.-Y. Liu, H.-H. Yeh, D. P. Tsai // Progress In Electromagnetics Research B. – 2010. – Vol. 22. – P. 39–52. doi: 10.2528/pierb10042405 3. Chen, D. Ultrahigh Birefringent

Photonic Crystal Fiber With Ultralow Confinement Loss [Text] / *D. Chen, L. Shen* // IEEE Photonics Technology Letters. – 2007. – Vol. 19 (4). – P. 185–187. doi: 10.1109/lpt.2006.890040 **4. Ju, J.** Design of single-polarization single mode photonic crystal fibers [Text] / *J. Ju, W. Jin, M. S. Demokan* // J. Lightwave Technol. – 2001. – Vol. 24. – P. 825–830. **5. Knight, J. C.** (2007). Nonlinear waveguide optics and photonic crystal fibers [Text] / *J. C. Knight, D. V. Skryabin* // Optics Express. – 2007. – Vol. 15 (23). – P. 15365–15376. doi: 10.1364/oe.15.015365 **6. Folkner, J. R.** Polarization maintaining large mode area photonic crystal fiber [Text] / *J. R. Folkner, M. D. Nielsen, N. A. Mortensen, C. Jakobsen, H. R. Simonsen* // Optics Express. – 2004. – Vol. 12 (5). – P. 956–960. doi: 10.1364/opex.12.000956 **7. Wadsworth, W. J.** Yb³⁺-doped photonic crystal fiber laser [Text] / *W. J. Wadsworth, J. C. Knight, W. H. Reeves, P. S. J. Russell, J. Arriaga* // Electronics Letters. – 2000. – Vol. 36 (17). – P. 1452–1453. doi: 10.1049/el:20000942 **8. Overview of Fiber Optic Sensors.** Available at: http://www.bluer.com/images/Overview_of_FOS2.pdf (Last accessed: 8.02.2012). **9. Yablouovitch, E.** (1991). Photonic band structure: The face-centered-cubic case employing nonspherical atoms [Text] / *E. Yablouovitch, T. Gmitter, K. Leung* // Physical Review Letters. – 1991. – Vol. 67 (17). – P. 2295–2298. doi: 10.1103/physrevlett.67.2295 **10. Birks, T. A.** Full 2-D photonic bandgaps in silica/air structures [Text] / *T. A. Birks, D. M. Atkin, T. J. Shepherd, P. S. J. Russell, P. J. Roberts* // Electronics Letters. – 1995. – Vol. 31 (22). – P. 1941–1943. doi: 10.1049/el:19951306 **11. Ho, H. L.** (2007). Optimizing microstructured optical fibers for evanescent wave gas sensing [Text] / *H. L. Ho, Y. L. Hoo, W. Jin, J. Ju, D. N. Wang, R. S. Windeler, Q. Li* // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2007. – Vol. 122 (1). – P. 289–294. doi: 10.1016/j.snb.2006.05.036 **12. Russell, P. S. J.** Photonic crystal fibers [Text] / *P. S. J. Russell* // Science **299**. – 2003. – P. 358–362. **13. Kumar, V. V. R.** Extruded soft glass photonic crystal fiber for ultrabroad supercontinuum generation [Text] / *V. V. R. Kumar, A. George, W. Reeves, J. Knight, P. Russell, F. Omenetto, A. Taylor* // Optics Express. – 2002. – Vol. 10 (25). – P. 1520. doi: 10.1364/oe.10.001520 **14. Cregan, R. F.** “Singlemode photonic band gap guidance of light in air,” [Text] / *R. F. Cregan, B. J. Mangan, J. C. Knight, T. A. Birks, P. S. J. Russell, P. J. Roberts and D. C. Allan* // Science **285**. – 1999. – P. 1537–1539. **15. Snyder, A. W.** *Optical Waveguide Theory* [Text] / *A. W. Snyder, J. D. Love* // Chapman and Hall, London, 1983. **16. Mangan, B. J.** Low loss (1.7 dB/km) hollow core photonic bandgap fiber [Text] / *B. J. Mangan, L. Farr, A. Langford, P. J. Roberts, D. P. Williams, F. Couny, M. Lawman, M. Mason, S. Coupland, R. Flea, H. Sabert, T. A. Birks, J. C. Knight and P. S. J. Russell* // in Proc. Opt. Fiber. Commun. Conf. 2004. – P. PDP24. **17. Miya, T.** Ultimate low-loss single-mode fibre at 1.55 μm [Text] / *T. Miya, Y. Terunuma, T. Hosaka and T. Miyashita* // Electron. Lett. **15**. – P. 106–108. **18. Nagayama, K.** Ultra-low-loss (0.1484 dB/km) pure silica core fibre and extension of transmission distance [Text] / *K. Nagayama, M. Kakui, M. Matsui, I. Saitoh, Y. Chigusa* // Electron. Lett. **38**. – P. 1168–1169. **19. Shinde, Y. S.** Dynamic Pressure Sensing Study Using Photonic Crystal Fiber: Application to Tsunami Sensing [Text] / *Y. S. Shinde, H. Kaur Gahir* // IEEE Photonics Technology Letters. – 2008. – Vol. 20 (4). – P. 279–281. doi: 10.1109/lpt.2007.913741 **20. Ebendorff-Heidepriem, H.** (2009). Suspended nanowires: fabrication, design and characterization of fibers with nanoscale cores [Text] / *H. Ebendorff-Heidepriem, S. C. Warren-Smith, T. M. Monro* // Optics Express. – 2009. – Vol. 17 (4). – P. 2646. doi: 10.1364/oe.17.002646 **21. Ohashi, M.** Optical loss property of silica-based single-mode fibers [Text] / *M. Ohashi, K. Shiraki, K. Tajima* // IEEE J. Lightwave Technol. – 1992. – Vol. 10. – P. 539–543. **22. Russell, P. S. J.** (2006). Photonic-Crystal Fibers [Text] / *P. S. J. Russell* // Journal of Lightwave technology. – 2006. – Vol. 24 (12). – P. 4729–4749. **23. Fedotov, A. B.** Volnovodnye svoystva i spektr sobstvennykh mod polykh fotonno-kristallicheskih volokon [Text] / *A. B. Fedotov, S. O. Kononov, O. A. Koletovatova, et al.* // Kvantovaya elektronika. – 2003. – Vol. 33 (3). – P. 271–274. **24. Chen, W.** Ring-core photonic crystal fiber interferometer for strain measurement [Text] / *W. Chen* // Optical Engineering. – 2010. – Vol. 49 (9). – P. 094402. doi: 10.1117/1.3488045 **25. Mogilevtsev, D.** (1999). Localized function method for modeling defect modes in 2-D photonic crystals [Text] / *D. Mogilevtsev, T. A. Birks, P. S. J. Russell* // Journal of Lightwave Technology. – 1999. – Vol. 17 (11). – P. 2078–2081. doi: 10.1109/50.802997

Bibliography (transliterated): **1. Knight, J. C., Birks, T. A., Russell, P. S. J., Atkin, D. M.** (1996). All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding. Optics Letters, 21 (19), 1547–1549. doi: 10.1364/ol.21.001547 **2. Chau, Y.-F., Liu, C.-Y., Yeh, H.-H., Tsai, D. P.** (2010). A comparative study of high birefringence and low confinement loss photonic crystal fiber employing elliptical air holes in fiber cladding with tetragonal lattice. Progress In Electromagnetics Research B, 22, 39–52. doi: 10.2528/pierb10042405 **3. Chen, D., Shen, L.** (2007). Ultrahigh Birefringent Photonic Crystal Fiber With Ultralow Confinement Loss. IEEE Photonics Technology Letters, 19 (4), 185–187. doi: 10.1109/lpt.2006.890040 **4. Ju, J., Jin, W., Demokan, M. S.** (2001). Design of single-polarization single mode photonic crystal fibers. J. Lightwave Technol., 24, 825–830. **5. Knight, J. C., Skryabin, D. V.** (2007). Nonlinear waveguide optics and photonic crystal fibers. Optics Express, 15 (23), 15365–15376. doi: 10.1364/oe.15.015365 **6. Folkner, J. R., Nielsen, M. D., Mortensen, N. A., Jakobsen, C., Simonsen, H. R.** (2004). Polarization maintaining large mode area photonic crystal fiber. Optics Express, 12 (5), 956–960. doi: 10.1364/opex.12.000956 **7. Wadsworth, W. J., Knight, J. C., Reeves, W. H., Russell, P. S. J., Arriaga, J.** (2000). Yb³⁺-doped photonic crystal fiber laser. Electronics Letters, 36 (17), 1452–1453. doi: 10.1049/el:20000942 **8. Overview of Fiber Optic Sensors.** Available at: http://www.bluer.com/images/Overview_of_FOS2.pdf (Last accessed: 8.02.2012). **9. Yablouovitch, E., Gmitter, T., Leung, K.** (1991). Photonic band structure: The face-centered-cubic case employing nonspherical atoms. Physical Review Letters, 67 (17), 2295–2298. doi: 10.1103/physrevlett.67.2295 **10. Birks, T. A., Atkin, D. M., Shepherd, T. J., Russell, P. S. J., Roberts, P. J.** (1995). Full 2-D photonic bandgaps in silica/air structures. Electronics Letters, 31 (22), 1941–1943. doi: 10.1049/el:19951306 **11. Ho, H. L., Hoo, Y. L., Jin, W., Ju, J., Wang, D. N., Windeler, R. S., Li, Q.** (2007). Optimizing microstructured optical fibers for evanescent wave gas sensing. Sensors and Actuators B: Chemical, 122 (1), 289–294. doi: 10.1016/j.snb.2006.05.036 **12. Russell, P. S. J.** (2003). “Photonic crystal fibers,” Science 299, 358–362. **13. Kumar, V. V. R., George, A., Reeves, W., Knight, J., Russell, P., Omenetto, F., Taylor, A.** (2002). Extruded soft glass photonic crystal fiber for ultrabroad supercontinuum generation. Optics Express, 10 (25), 1520. doi: 10.1364/oe.10.001520 **14. Cregan, R. F., Mangan, B. J., Knight, J. C., Birks, T. A., Russell, P. S. J., Roberts P. J., Allan, D. C.** (1999). “Singlemode photonic band gap guidance of light in air,” Science 285, 1537–1539. **15. Snyder, A. W., Love, J. D.** (1983). *Optical Waveguide Theory* (Chapman and Hall, London). **16. Mangan, B. J., Farr, L., Langford, A., Roberts, P. J., Williams, D. P., Couny, F., Lawman, M., Mason, M., Coupland, S., Flea, R., Sabert, H., Birks, T. A., Knight J. C., Russell, P. S. J.** (2004). “Low loss (1.7 dB/km) hollow core photonic bandgap fiber,” in Proc. Opt. Fiber. Commun. Conf., paper PDP24. **17. Miya, T., Terunuma, Y., Hosaka, T., Miyashita, T.** (1979). “Ultimate low-loss single-mode fibre at 1.55 μm ,” Electron. Lett. 15, 106–108. **18. K. Nagayama, M. Kakui, M. Matsui, I. Saitoh and Y. Chigusa,** “Ultra-low-loss (0.1484 dB/km) pure silica core fibre and extension of transmission distance,” Electron. Lett. 38, 1168–1169 (2002). **19. Shinde, Y. S., Kaur Gahir, H.** (2008). Dynamic Pressure Sensing Study Using Photonic Crystal Fiber: Application to Tsunami Sensing. IEEE Photonics Technology Letters, 20 (4), 279–281. doi: 10.1109/lpt.2007.913741 **20. Ebendorff-Heidepriem, H., Warren-Smith, S. C., Monro, T. M.** (2009). Suspended nanowires: fabrication and characterization of fibers with nanoscale cores. Optics Express, 17 (4), 2646. doi: 10.1364/oe.17.002646 **21. Ohashi, M. Shiraki K., Tajima, K.** (1992). “Optical loss property of silica-based single-mode fibers,” IEEE J. Lightwave Technol. 10, 539–543. **22. Russell, P. S. J.** (2006). Photonic-Crystal Fibers. Journal of Lightwave technology, 24 (12), 4729–4749. **23. Fedotov, A. B., Kononov, S. O., Koletovatova, O. A. et al.** (2003). Volnovodnye svoystva i spektr sobstvennykh mod polykh fotonno-kristallicheskih volokon. Kvantovaya elektronika, 33 (3), 271–274. **24. Chen, W.** (2010). Ring-core photonic crystal fiber interferometer for strain measurement. Optical Engineering, 49 (9), 094402. doi: 10.1117/1.3488045 **25. Mogilevtsev, D., Birks, T. A., Russell, P. S. J.** (1999). Localized function method for modeling defect modes in 2-D photonic crystals. Journal of Lightwave Technology, 17 (11), 2078–2081. doi: 10.1109/50.802997

Поступила (received) 21.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аль-Судани Хайдер Али Муса – аспірант, Харківський національний університет радіоелектроніки; Кафедра фізических основ електронної техніки, пр. Леніна, 14, г. Харків, Україна, 61166.

Аль-Судані Хайдер Алі Муса – аспірант, Харківський національний університет радіоелектроніки; Кафедра фізических основ електронної техніки, пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166.

Haider Ali Muse – postgraduate student, Kharkiv national university of radio electronics; Department of Physical Foundations of Electronic Engineering, Lenina ave., 14, Kharkov, 61166

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА КОМПЛЕКСАМИ

УДК 681.518.54

Р. П. МИГУЩЕНКО

РОЗРАХУНОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ВІБРАЦІЇ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СКЛАДНИХ ПРОМИСЛОВИХ АГРЕГАТІВ

В статті розглядається синтез вимірювального каналу вібрації і аналітичний розрахунок його точнісних характеристик. Показано, що для ідентифікації поточного функціонального стану складних промислових агрегатів, в умовах експрес-контролю, найбільш доцільно оцінювати механічну вібрацію основних вузлів таких агрегатів, а для вимірювання вібрації використовувати п'єзоелектричні датчики. В статті розроблена структура перетворення механічної вібрації в електричний сигнал, проведені розрахунки елементів вимірювального каналу. Результати досліджень використані при контролі стану двигунів танків Т-64.

Ключові слова: промисловий агрегат, механічна вібрація, вимірювальний канал, похибка вимірювання, експрес-контроль

Вступ. Підвищення якості і експлуатаційної надійності будь-якої технологічно і технічно складної промислової продукції, особливо, якщо остання енергонасичена і має динамічні властивості, неможливе без удосконалення методів, приладів та інформаційно-вимірювальних технологій контролю і функціональної діагностики [1]. При цьому виникає комплексна наукова проблема, вирішення якої визначається як обсягом і точністю отримання первинної вимірювальної інформації, так і правильністю перетворень останньої в логічні висновки відносно фактичного технічного стану об'єкта [2].

Однією з найважливіших наукових і технічних задач при оцінці стану промислового об'єкта є отримання первинної вимірювальної інформації, яка однозначно характеризує його поточний стан. Для переважної більшості промислових агрегатів такою інформацією є механічна вібрація [3, 4]. Технічним аспектам прийому, перетворенню і опрацюванню механічної вібрації присвячена дана стаття.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. При проведенні експериментів в межах досліджень даної статті виникла необхідність в застосуванні різного роду інженерних розробок. Для цього на практиці необхідні досить добре вивчені і широко застосовувані засоби [5]:

- первинні перетворювачі механічної вібрації в активні або пасивні електричні величини;
- локальні вимірювальні канали, які реалізують нижній рівень ієрархічної системи контролю чи діагностики;
- цифрові канали, необхідні для індикації і для введення цифрових еквівалентів вібрації в координатор верхнього рівня ієрархії.

Відомо, що на точність визначення поточного стану промислових агрегатів, в першу чергу, впливає первинна інформація, яка визначається вибором датчика і побудовою вимірювального каналу.

Особливістю п'єзоелектричного перетворювача вібрації, який найчастіше використовується для вимірювання механічної вібрації, є високий вихідний опір [6], саме тому такий перетворювач можна представити у вигляді джерела струму. У цьому випадку величина вібро-

прискорення механічної вібрації технічних об'єктів є пропорційною струму з первинного перетворювача, а це зумовлює необхідність в побудові вимірювального каналу струму [7].

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є синтез вимірювального каналу механічної вібрації для забезпечення експрес-контролю стану складних промислових агрегатів.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

1. Розробка вимірювального каналу механічної вібрації.
2. Оцінка точнісних характеристик вказаного каналу.
3. Натурні випробування результатів розробки.

Синтез вимірювального каналу вібрації. При проведенні досліджень вібрації промислових агрегатів автор виконував розробку такого вимірювального каналу відповідно до виробленого технічного завдання (ТЗ). Необхідний за ТЗ діапазон вимірювання електричного струму ($1 \div 100 \text{ A}$) можна розбити на наступні діапазони:

- $0.1 \text{ A} \div 1 \text{ A}$;
- $1 \text{ A} \div 10 \text{ A}$;
- $10 \text{ A} \div 100 \text{ A}$.

Структурна схема вимірювального каналу струму являє блок перетворення струм-напруга, який складається з вимірювального трансформатора, дільника, випрямляча і перетворювача рівнів (рис 1). Надалі сигнал з цього каналу надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

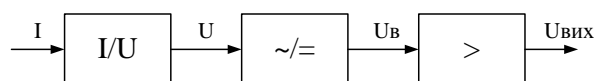


Рис. 1 – Структурна схема вимірювального каналу

Для перетворення струму в напругу використовується трансформаторна розв'язка і резистивний дільник. Для такого перетворення використовується зняття значення падіння напруги на резистивному дільнику, через який пропущений струм вторинної обмотки трансформатора. У схемі використовується

трансформатор з коефіцієнтом перетворення $K = 1000$. Сумарний опір резистивного дільника $R_{\Sigma} \neq 75$.

Розрахункова частина при розробці вимірювального каналу полягає в розрахунку опорів дільника, а також опорів перетворювача рівнів, для прямого узгодження величини вимірюваного струму з вхідним сигналом АЦП. Номінальне значення вимірюваної величини кожного діапазону повинне дати 1 В на вході АЦП.

Принципова схема перетворювача струм-напруга показана на рис. 2.

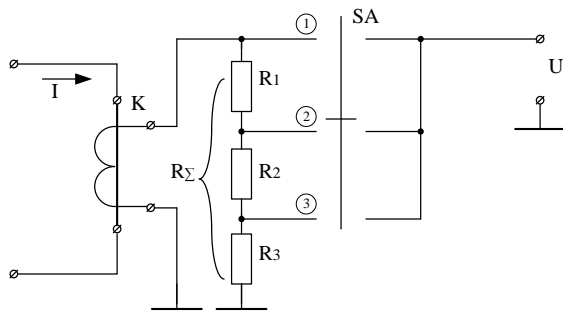


Рис. 2 – Схема перетворювача струм-напруга

Розрахуємо для схеми перетворення з рис. 2 вихідну напругу. Для першого діапазону:

$$I_{\Sigma 1} = \frac{I_{n1}}{K}; \quad I_{\Sigma 1} = \frac{1}{10^3} = 10^{-3} \text{ А};$$

$$U_1 = I_{\Sigma 1} R_{\Sigma}; \quad U_1 = 10^{-3} \cdot 75 = 0.075 \text{ В}.$$

Вибираємо коефіцієнт ділення резистивного дільника на інших діапазонах так, щоб вихідна напруга залишалася незмінною. Тоді, для другого діапазону:

$$I_{\Sigma 2} = \frac{I_{n2}}{K}; \quad I_{\Sigma 2} = \frac{10}{10^3} = 10^{-2} \text{ А};$$

$$R_{\Sigma 2} \neq \frac{U_2}{I_{\Sigma 2}} = \frac{0.075}{10^{-2}} = 7.5.$$

Для третього діапазону:

$$I_{\Sigma 3} = \frac{I_{n3}}{K}; \quad I_{\Sigma 3} = \frac{100}{10^3} = 10^{-1} \text{ А};$$

$$R_{\Sigma 3} \neq \frac{U_3}{I_{\Sigma 3}} = \frac{0.075}{10^{-1}} = 0.75.$$

Таким чином:

$$R_3 = R_{\Sigma 3} = 0.75 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_{\Sigma 2} - R_{\Sigma 3} = 7.5 - 0.75 = 6.75;$$

$$R_1 = R_{\Sigma 1} - R_{\Sigma 2} = 75 - 7.5 = 67.5.$$

Рівняння перетворення струму в напругу матимуть наступний вигляд.

Для першого діапазону:

$$U = \frac{I}{K} \cdot (R_1 + R_2 + R_3);$$

Для другого діапазону:

$$U = \frac{I}{K} \cdot (R_2 + R_3).$$

Для третього діапазону:

$$U = \frac{I}{K} \cdot R_3.$$

В якості випрямляча і перетворювача рівнів, які слідують у вимірювальному каналі за вимірювальним трансформатором та дільником, використана схема інвертуючого підсилювача на операційному підсилювачі з включеними діодами в колі оберненого зв'язку та вихідним фільтром.

Схема випрямляча і перетворювача рівнів показана на рис. 3 [8].

Рівняння перетворення для схеми на рис. 3 матиме наступний вигляд:

$$U_{вих} = U_{вх} \frac{R_{y2}}{R_{y1}},$$

при виконанні умови $C_1 R_2 \gg T$.

З іншого боку

$$K_{oc} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}; \quad K_{oc} = \frac{1}{0.075} = 13.3.$$

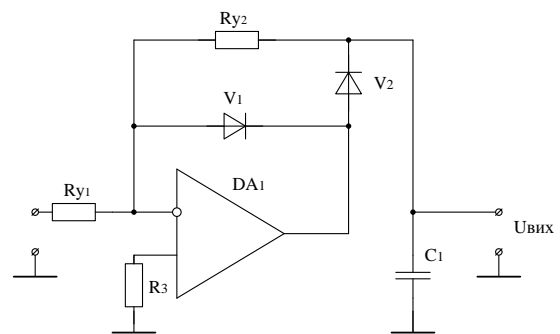


Рис. 3 – Схема випрямляча і перетворювача рівнів

Прийmemo $R_{y2} = 100 \text{ кОм}$, тоді:

$$R_{y1} = \frac{R_{y2}}{K}; \quad R_{y1} = \frac{100 \cdot 10^3}{13.3} = 7.5 \cdot 10^3.$$

Визначення характеристик вимірювального каналу вібрації. Проаналізуємо похибки, які виникають у побудованому вимірювальному каналі.

При непрямих вимірюваннях значення невідомої величини q знаходять на підставі математичної залежності, яка пов'язує цю величину з однією або декількома величинами $(x, y, \dots z)$, що отримані прямими вимірюваннями [9]:

$$q = f(x, y, \dots z).$$

Похибка результату q також буде функціонально пов'язана з похибками вимірюваних величин $(x, y, \dots z)$.

Для знаходження похибки результату непрямого вимірювання можна скористатися наступними правилами [9]:

1. Якщо остаточний результат вимірювання виражається сумою або різницею двох або більше вимірюваних значень:

$$q = x + \dots + z - (u + \dots + w)$$

і похибки $\Delta x, \dots \Delta w$ незалежні і випадкові, то абсолютна похибка результату може бути знайдена по формулі:

$$\Delta q = \sqrt{(\Delta x)^2 + \dots + (\Delta z)^2 + (\Delta u)^2 + \dots + (\Delta w)^2} . \quad (1)$$

Коли похибки аргументів корельовані, значення Δq може перевищувати отримане по формулі (1), але завжди задовольняє умові:

$$\Delta q \leq \Delta x + \dots + \Delta z + \Delta u + \dots + \Delta w .$$

2. Якщо остаточний результат вимірювання виражається множенням або діленням двох або більше вимірних значень:

$$\Delta q = \frac{x \cdot \dots \cdot z}{u \cdot \dots \cdot w}$$

і похибки $\delta x \dots \delta w$ незалежні і випадкові, то відносна похибка результату може бути знайдена по формулі:

$$\delta q = \sqrt{(\delta x)^2 + \dots + (\delta z)^2 + (\delta u)^2 + \dots + (\delta w)^2} . \quad (2)$$

Коли похибки аргументів корельовані, значення δq може перевищувати отримане по формулі (2), але завжди задовольняє умові:

$$\delta q \leq \delta x + \dots + \delta z + \delta u + \dots + \delta w .$$

3. У загальному випадку похибка функції декількох величин

$$q = f(x, y, \dots, w),$$

похибки яких незалежні і випадкові, знаходиться по формулі:

$$\delta q = \sqrt{\left(\frac{\partial q}{\partial x} \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial y} \delta y\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial q}{\partial w} \delta w\right)^2} , \quad (3)$$

і у будь-якому випадку ніколи не перевищує значення:

$$\delta q \leq \left| \frac{\partial q}{\partial x} \right| \delta x + \left| \frac{\partial q}{\partial y} \right| \delta y + \dots + \left| \frac{\partial q}{\partial w} \right| \delta w .$$

Розрахунок похибки перетворення вимірювального каналу проводимо на основі формули (3).

При першому діапазоні функція перетворення має вигляд:

$$U = \frac{1}{K} \cdot (R_1 + R_2 + R_3) \cdot \frac{R_{y2}}{R_{y1}} .$$

Тоді похибка перетворення виходячи з формули (3) виглядає так:

$$\gamma_1 = \left[\frac{\partial U \cdot \Delta R_1}{\partial R_1} + \frac{\partial U \cdot \Delta R_2}{\partial R_2} + \frac{\partial U \cdot \Delta R_3}{\partial R_3} + \frac{\partial U \cdot \Delta R_{y1}}{\partial R_{y1}} \frac{\partial U \cdot \Delta R_{y2}}{\partial R_{y2}} + \frac{\partial U \cdot \Delta I}{\partial I} + \frac{\partial U \cdot \Delta K}{\partial K} \right] \cdot 100\% . (4)$$

ΔR_i визначається виходячи з виразу:

$$\Delta R_i = \frac{TKO \cdot R_i \cdot \Delta t}{100\%} , \quad (5)$$

де TKO – температурний коефіцієнт опору – $0.04\%/^{\circ}C$; Δt – зміна температури (на $20^{\circ}C$).

Виходячи з формули (5) і номіналів $R_{Q\#6} 7.3$, $R_{Q\#7} 6.73$, $R_{Q\#1}$, $R_{\#7} 17.5$, $R_{\#2} 100$ знайдено:

$$\Delta R_{Q\#6} 0.538 \quad ; \quad \Delta R_{Q\#7} 0.054 \quad ;$$

$$\Delta R_{Q\#1} 0.008 \quad ; \quad \Delta R_{\#7} 60 \quad ; \quad \Delta R_{\#2} 800 \quad .$$

У схемі використовувався трансформатор з класом точності 0.5. Так як у вимірювальних трансформаторах переважає мультиплікативна похибка, то держстандарт у таких пристроїв нормує межу допустимої відносної похибки. Виходячи з цього, максимальна абсолютна похибка вимірювального трансформатора струму дорівнює $\Delta K = 0.005$, а абсолютна похибка вимірювання струму $\Delta I = 0.01 A$.

Тоді похибка перетворення при вимірюванні струму, виходячи з формули (4) складає $\gamma_1 = 1.012\%$.

При другому діапазоні функція перетворення вимірювального каналу має вигляд:

$$\gamma_2 = \left[\frac{\partial U \cdot \Delta R_2}{\partial R_2} + \frac{\partial U \cdot \Delta R_3}{\partial R_3} + \frac{\partial U \cdot \Delta R_{y1}}{\partial R_{y1}} \frac{\partial U \cdot \Delta R_{y2}}{\partial R_{y2}} + \frac{\partial U \cdot \Delta I}{\partial I} + \frac{\partial U \cdot \Delta K}{\partial K} \right] \cdot 100\% . (6)$$

$$U = \frac{1}{K} \cdot (R_2 + R_3) \cdot \frac{R_{y2}}{R_{y1}} .$$

Похибка перетворення при другому діапазоні визначається так:

$$\text{Похибка, відповідно до (6) складає } \gamma_2 = 0.746\% .$$

При третьому діапазоні вираз для коефіцієнту перетворення виглядає таким чином:

$$U = \frac{1}{K} \cdot R_3 \cdot \frac{R_{y2}}{R_{y1}} .$$

Похибка перетворення для цього випадку:

$$\gamma_3 = \left[\frac{\partial U \cdot \Delta R_3}{\partial R_3} + \frac{\partial U \cdot \Delta R_{y1}}{\partial R_{y1}} \frac{\partial U \cdot \Delta R_{y2}}{\partial R_{y2}} + \frac{\partial U \cdot \Delta I}{\partial I} + \frac{\partial U \cdot \Delta K}{\partial K} \right] \cdot 100\% . (7)$$

Похибка перетворення вимірювального каналу при третьому діапазоні (7) складає $\gamma_3 = 1.351\%$.

Виходячи із співвідношень розрахунку похибок при трьох діапазонах вимірювання струму обирається максимальна, і тоді похибка вимірювального каналу складає $\gamma = 1.351\%$.

Результати використання вимірювальних каналів вібрації.

При дослідженнях систем подачі палива в дизель-генераторні установки, вузлів виведення відпрацьованих газів дизельними двигунами, функціонуючих систем охолодження двигунів на ДП «Харківський бронетанковий завод» була розроблена і використана діагностична апаратура [10], до складу якої входили розроблені автором вимірювальні канали вібрації. З використанням цієї діагностичної апаратури були зняті і оброблені вібро сигнали при виконанні вказаних досліджень на дизельному обладнанні танків Т-64 (рис. 4).

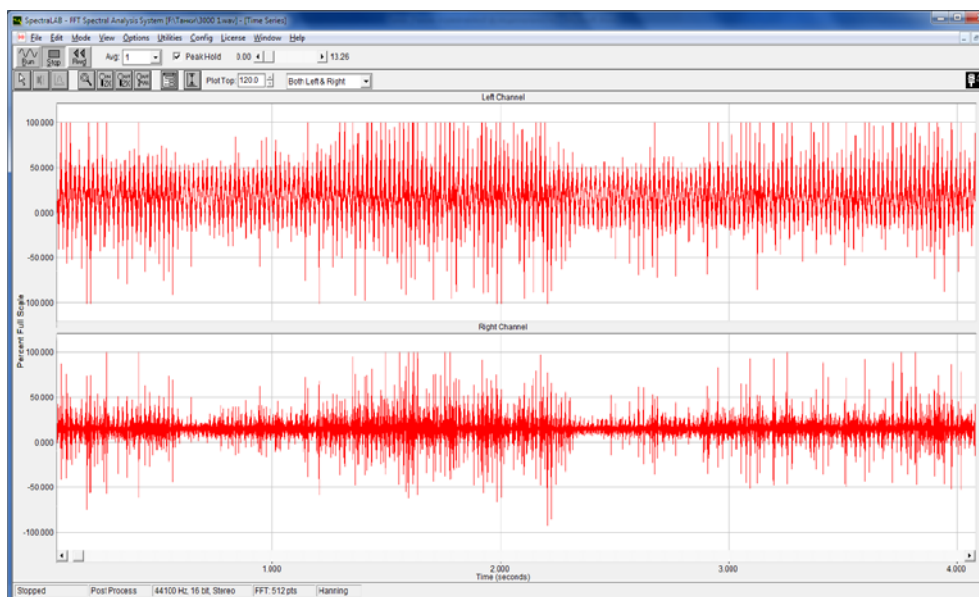


Рис. 4 – Вимірювальні вібросигнали двигунів танків Т-64 на частоті 3000 об/хв

Розроблений і досліджений вимірювальний канал механічної вібрації передавав вимірювальну інформацію на лінійний вхід комп'ютера типу «NOTEBOOK» і опрацьовувався прикладною програмою SpectraLAB 4.3.

Висновки. В результаті проведених досліджень розроблений, досліджений та впроваджений інформаційно-вимірювальний канал перетворення механічної вібрації в електричний сигнал. Виявлені його основні точнісні характеристики.

Список літератури:1. *Montgomery, D. C.* Introduction to Statistical Quality Control [Text] / *D. C. Montgomery.* – New York: John Wiley & Sons, 2001. – 796 p.2. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. посіб. для учнів проф.-техн. навч. закл. [Текст] / *С. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк.* – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с.3. Неразрушаючий контроль: вибродіагностика. Справочник в 7 томах [Текст] / *Ф. А. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова, Р. В. Васильева и др.; под редакцией В.В. Клюева.* – М.: Машиностроение. – Т. 7. – 2005. – 829 с.4. *Клюев, В. В.* Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: справочник в 2-х книгах. Кн. 1 [Текст] / *В. В. Клюев; под ред. В. В. Клюева.* – М.: Машиностроение, 1978. – 448 с.5. *Чинков, В. М.* Цифрові вимірювальні пристрої: навч. посібн. [Текст] / *В. М. Чинков.* – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – 508 с.6. *Виглеб, Г.* Датчики [Текст] / *Г. Виглеб; пер. с нем.* – М.: Мир, 1989. – 196 с.7. *Грэм, Дж.* Проектирование и применение операционных усилителей [Текст] / *Дж. Грэм, Дж. Тоби, Л. Хьюлман* // Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 510 с.8. *Гутников, В. С.* Интегральная электроника в измерительных устройствах [Текст] / *В. С. Гутников.* – Л.: Энергоатомиздат. Ле-

нинградское отд-ние, 1988. – 304 с.9. Проверка средств электрических измерений: справочная книга [Текст] / *Л. И. Любимов, И. Д. Форсилова, Е. З. Шапиро и др.* – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 296 с.10. *Мигущенко, Р. П.* Стенд отладки микропроцессорных приборов [Текст] / *Р. П. Мигущенко, В. І. Бакум, О. Ю. Крончак, О. Є. Тверитникова, М. І. Опришкіна* // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. Автоматика та приладобудування. – 2008. – No 31. – С. 113 – 117.

Bibliography (transliterated):1. *Montgomery, D. C.* (2001). Introduction to Statistical Quality Control. New York: John Wiley & Sons, 796.2. *Volodars'kyy, Ye. T., Kukharchuk, V. V., Podzharenko, V. O., Serdyuk, H. B.* (2001). Metrolohichne zabezpechennya vymiryuvan' i kontrolyu: navch. posib. dlya uchniv prof.-tekhn. navch. zakl. Vinnytsya: Veles, 219.3. *Balytskyy, F. A., Barkov, A. V., Barkova, N. A., Vasylyeva, R. V. y dr.; pod redaktsyey Klyueva V. V.* (2005). Nerazrushayushchy kontrol': vybrodyahnostyka. Spravochnyk v 7 tomakh. Moscow: Mashynostroenye. T. 7, 829.4. *Klyuev, V. V.* (1978). Prybory y systemy dlya yzmerenyuya vybratsyy, shuma y udara: spravochnyk v 2-kh knyakh. Kn. 1. Moscow: Mashynostroenye, 448.5. *Chynkov, V. M.* (2008). Tsyfrovі vymiryuva'l'ni prystroyi: navch. posibn. Kharkiv: NTU «KhPI», 508.6. *Vyhleb, H. Datchyky ; per. s nem.* (1989). Moscow: Myr. 196.7. *Hrэм, Dzх., Тoby, Dzх., Kh'yulsmан, L.* (1974). Proektyrovanye y pryumenenye operatsyonnykh usulyteley: Per. s anhл. Moscow: Myr. 510.8. *Hutnykov, V. S.* (1988). Yntehr'al'naya elektronyka v yzmyrytel'nykh ustroystvakh. Leningrad: Enerhoatomyzdat. Leningradskoe otd-nye, 304.9. *Lyubymov, L. Y., Forsylova, Y. D., Shapyro, E. Z. y dr.* (1987). Poverka sredstv elektricheskyykh yzmerenyuy: spravochnaya knyha. Leningrad: Enerhoatomyzdat. Leninghr. otd-nye, 296.10. *Mygushchenko, R. P., Bakum, V. I., Kropachek, O. Yu., Tverytnykova, O. Ye., Opryshkina, M. I.* (2008). Stend otladky mykroprotsessornykh pryborov. Visnyk NTU «KhPI». Ser. Avtomatyka ta prykladobuduvannya, No 31, 113 – 117.

Надійшла (received) 30.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мигущенко Руслан Павлович – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент, професор кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології та системи»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; тел.: 067-767-02-87; e-mail: mrp1@bk.ru.

Мигущенко Руслан Павлович – доктор технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент, профессор кафедры «Информационно-измерительные технологии и системы»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: 067-767-02-87; e-mail: mrp1@bk.ru.

Mygushchenko Ruslan – doctor of technical sciences, associate professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»; st. Frunze, 21 m. Kharkiv, Ukraine, 61002; tel.: 067-767-02-87; e-mail: mrp1@bk.ru.

УДК 519.71

Е. И. КУЧЕРЕНКО, И. С. ГЛУШЕНКОВА, С. А. ГЛУШЕНКОВ

РАСШИРЕНИЕ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ СТОХАСТИЧЕСКИХ И НЕЧЕТКИХ ГРАФОВ

Рассмотрены расширения сетевых моделей на основе интеграции стохастических моделей и нечетких графов. Показано, что создание гибридных моделей интегрирует достоинства частных моделей и исключает из рассмотрения недостатки этих моделей. Исследованы стохастические и нечеткие графы, которые являются модификацией графической модели оценки и пересмотра планов (ГЕРТ) и if/then-моделей. Исследование моделей показало достоинства и недостатки моделей, эффективность подходов подтверждена экспериментально в географических информационных системах.

Ключевые слова: нечеткая сеть Петри, ГЕРТ-сети, стохастические и нечеткие графы, сетевые модели

Введение. Широкое использование геоинформационных технологий в управлении территориями создает необходимость исследования задач моделирования процессов оценивания сложных объектов, функционирующих в условиях неопределенности, характеризующихся пространственным распределением, взаимодействием и параллельной обработкой данных и знаний, влиянием субъективного фактора при принятии управленческих решений [1, 2]. Такие объекты выполняют свои функции на множестве взаимодействующих динамических процессов, которые носят детерминированный (D), вероятностный или стохастический (P), нечеткий (\tilde{F}) характер. Процессы D , P достаточно исследованы в научной литературе [3, 4], при этом проблема снижения уровня неопределенности остается актуальной и требует дополнительных исследований. Исходя из постулата о моделировании, как процессе снижения уровня неопределенности системы [5], рассмотрим расширение сетевых моделей на основе интеграции стохастических и нечетких графов для повышения эффективности моделей, что является важным и актуальным.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Часть процессов и явлений функционируют в условиях неопределенности [2], характеризуются нечетким пространством состояний [1]. Другая часть характеризуется стохастической природой [6]. Комбинации процессов и явлений различной природы требует новых интеллектуальных подходов для повышения эффективности принятия решений [5]. Нужно отметить, что они характеризуются функциональной и территориальной распределенностью [2], сложной иерархией взаимодействия их компонент [7, 8]. Существующие подходы для анализа [8, 9] обычно функционально ограничены, в ряде случаев они не дают практических подходов к решению поставленных задач.

Постановка проблемы: пусть задана сетевая модель \tilde{S}_Ω [10]. Процессы представлены на основе детерминированных – D , вероятностных (стохастических) – S , и нечетких отображений – $\tilde{F}(\tau)$. Модель на основе нечеткой сети Петри, ориентированная на моделирование дискретных процессов, ограничена функционально. Это требует создания гибридных моделей [4, 11].

Цель и задачи исследования. Целью поставленной проблемы является снижение уровня неопределенности на основе моделирования процессов новыми гибридными моделями, повышение эффектив-

ности программных приложений. Актуальность исследований является важной составляющей при проектировании систем [1 – 3].

В работе необходимо:

- предложить структуру гибридной модели на основе интеграции стохастических и нечетких графов;
- предложить расширение модели \tilde{S}_Ω функционально для решения широкого класса задач;
- определить множество ограничений на использование стохастических и нечетких графов;
- выполнить экспериментальные исследования для выявления эффективности рассматриваемых моделей и процессов.

Развитие сетевых моделей в задачах управления ресурсами с использованием ГИС и технологий. Можно представить сетевую модель в виде [1, 10].

$$\tilde{S} = \langle \tilde{P}, \tilde{T}, \tilde{F}, \tilde{M}_o, \tilde{L} \rangle, \quad (1)$$

где $\tilde{P}: \mu(x) \rightarrow [0,1]$ – нечеткое множество позиций; $\tilde{T}: \mu(x) \rightarrow [0,1]$ – нечеткое множество переходов; $\tilde{F} = \tilde{F}: (\tilde{P} \times \tilde{T}) \cup (\tilde{T} \times \tilde{P}) : \mu(x, y) \rightarrow [0,1]$ – нечеткая функция инцидентов; \tilde{M}_o – вектор нечеткой начальной маркировки нечетких позиций; $L = \{\tilde{L}_i\}$ – обобщенный предикат, $i \in I$.

Для полного выполнения типичной сети проекта необходимо выполнение всех дуг. Под выполнением дуг и узлов сети понимают выполнение соответствующих операций [6] – $\forall \tilde{P}_j \in \tilde{P} | \tilde{M}_{P_j} \neq \emptyset$.

Узлы стохастической сети могут быть интерпретированы как состояния системы, а дуги – как переходы из одного состояния в другое [6]. Такие переходы можно рассматривать как выполнение обобщенных операций, характеризуемых плотностью распределения или функцией массы и вероятностью выполнения [6].

Детерминированные сети могут быть представлены на основе дискретных и непрерывных процессов [12].

Для расширения процессов моделирования используют расширения на основе искусственных нейронных сетей [1], что вызывает определенные трудности в обучении и интерпретации результатов [1, 13].

Случай 1. Рассмотрим расширение (1) на основе стохастических графов [6]

© Е. И. Кучеренко, И. С. Глушенкова, С. А. Глушенков. 2015

$$G = \langle V, N \rangle, \tag{2}$$

где V – множество вершин; N – множество отношений.

Утверждение 1. Если существует S_Ω , множество вершин P и T , а также определена функция распределения вероятности

$$P(x, y) \neq 0 \tag{3}$$

случайной величины, то представление вершин из (3) $\tilde{P}: \langle V, N \rangle$ повышает эффективность системы.

Действительно, при выборе альтернатив из

$$Alt_\alpha \in \{Alt_\alpha\}, \alpha \in A \tag{4}$$

и наличии $P(x, y) \neq 0$ позволяет выбрать на основе (3) функционала

$$P(x, y) \xrightarrow{Alt_\alpha \in \{Alt_\alpha\}, P \geq P^*} \max. \tag{5}$$

Следствие 1. При вычислении (5) мы представляем результат как альтернативу на некоторых позициях из $P_\alpha \subseteq P$.

Случай 2. При условии, что

$$P(x, y) = \begin{cases} 0, \\ P(x, y) = false, \end{cases} \tag{6}$$

а также $\tilde{F}_\alpha: \mu(x) \neq 0$, возникает задача оценки альтернатив по критерию max четкости.

Утверждение 2. Если существует $P(x, y) = 0$, а также $\tilde{F}_\alpha \neq 0$, то поиск альтернатив из $\tilde{Alt}_\alpha \in \{\tilde{Alt}_\alpha\}, \alpha \in A$ может быть определен в виде:

$$\tilde{F}(x) \xrightarrow{\tilde{Alt}_\alpha \in \{\tilde{Alt}_\alpha\}, \mu(x)_0 \geq \mu(x)_0^*} \max. \tag{7}$$

Следствие 2. При вычислении (7) представляем результат как альтернативу на некоторых позициях из $P_\alpha \subseteq P$.

Рассмотрим некоторый пример функционирования объекта на основе нечеткого оператора (рис. 1).

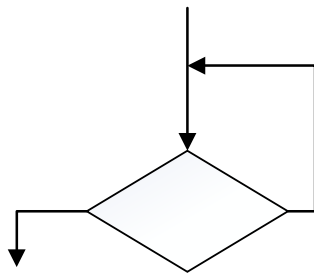


Рис. 1 – Схема логического оператора «или»

На рис. 2 предложен фрагмент сети Петри итерационных процедур (рис. 1). В табл. 1 приведены параметры сети Петри.

Таблица 1 – Параметры сети Петри

Позиция	\tilde{P}_1	\tilde{P}_2	\tilde{P}_3	\tilde{P}_4
Время τ, c	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4
Вероятность	p'_1	p'_2	p'_3	p'_4

Затраты на выполнение всей задачи

$$W_R t_m = \forall \tilde{p}_j \in \{\tilde{p}_j(in)\} | M_{p_j} = A \wedge (\tau_m \cdot p'_m \geq R_2^*),$$

где $A = \forall \tilde{p}_j \in \{\tilde{p}_j(in) | M_{p_j} = 1$.

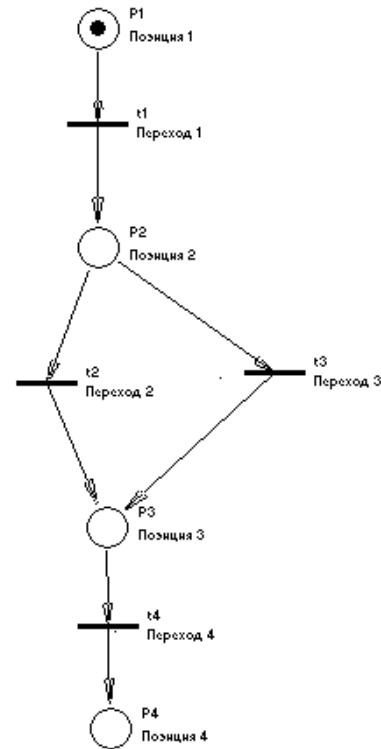


Рис. 2 – Представление фрагмента процесса в виде сети Петри

Используя итерационные процессы на схеме эквивалентного графа (рис. 3), мы можем сформулировать следующее утверждение.

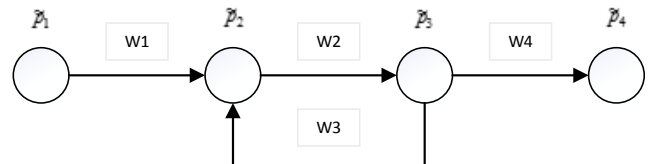


Рис. 3 – Схема эквивалентного графа нечеткой сети Петри

Утверждение 3. Если существует эквивалентный граф, для параметров которого справедливо $\tau_i = const$ – время выполнения i -перехода;

$\mu(x)_i = const$ – функция принадлежности выполнения i -перехода;

$R_i^* = const$ – верхняя оценка отношения $(p, t) \cup (t, p)$, то передаточная функция фрагмента равна

$$W_\Sigma = A \wedge K(2n + 3), \tag{8}$$

где $K = \tau_i: \mu(x)_i \geq R_i^*$; n – число итераций.

Действительно, приняв, что существуют циклы

- 1) $W_2 + W_3$;
- 2) $W_2 + W_3$;
- 3) $W_2 + W_3$;
- ...
- n) $W_1 + (W_2 + W_3)n + W_2 + W_4$,

для которых справедливо

$$\begin{aligned}
 W_{R^*t_1} &= \forall_{pj} \in \{p_i(in)\} | M_{pj} = 1 \wedge \tau_1 \cdot \mu'_1 \geq R_1^* ; \\
 W_{R^*t_2} &= \forall_{pj} \in \{p_i(in)\} | M_{pj} = 1 \wedge \tau_2 \cdot \mu'_2 \geq R_2^* ; \\
 W_{R^*t_3} &= \forall_{pj} \in \{p_i(in)\} | M_{pj} = 1 \wedge \tau_3 \cdot \mu'_3 \geq R_3^* ; \quad (10) \\
 W_{R^*t_4} &= \forall_{pj} \in \{p_i(in)\} | M_{pj} = \\
 &= 1 \wedge \tau_4 \cdot p'_4 \geq R_4^* \wedge (\tau_3 \cdot \mu'_3 \leq R_3^*), R_i^* \neq R_{i+\alpha}^* ; \\
 &..... \\
 W_{R^*t_m} &= A \wedge \tau_m \cdot \mu'_m \geq R_m^*, R_i^* \neq R_{i+\alpha}^*,
 \end{aligned}$$

тогда окончательно получим (8).

Задав значения параметров: $\tau_i = 10,0c, \tau_i = const$, $\mu(x)_i = 0,99$, $\mu(x)_i = const$, $R^* = 5,0$; $R^* = const$, $n = 10$, получим из (8) с учетом (9), (10) $W_\Sigma = 0,99 \cdot 10 \cdot (2 \cdot 10 + 3) = 227,7c$.

Результаты исследований эффективности применения ГЕРТ-технологий

Представим структуру стохастического графа [6] в виде (рис. 4) с петлями. Эквивалентный граф представлен на рис. 5.

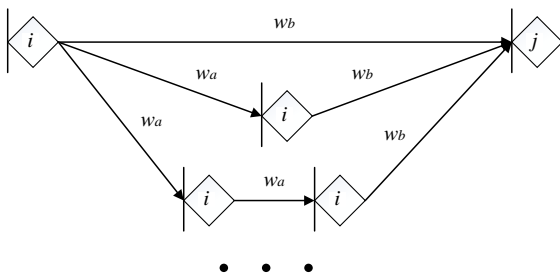


Рис. 4 – Структура стохастического графа с петлями

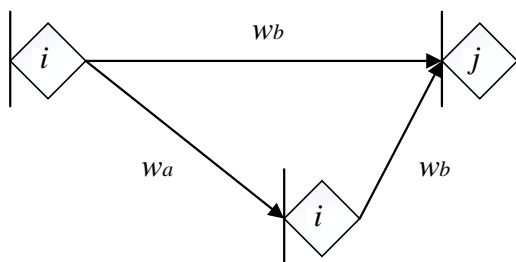


Рис. 5 – Эквивалентный граф

Используя эквивалентный граф (рис. 5), определим вес петли [6]

$$W_{ij} = W_b (1 + \sum_{m=1}^{\infty} W_a^m) \quad (11)$$

Представив значения $\tau = 10c = const$, $p' = 0,99 = const$, $W_b \approx 9,9c$, $W_a \approx 9,9c$, $n = 10$, в (11) получим

$$W_{ij} = 9,9 \cdot (1 + 9,9 + 9,9^2 + 9,9^3 + \dots + 9,9^{10}).$$

Тогда, согласно (11) $W_{ij} \gg W_\Sigma$, что подтверждает эффективность случая 2 по отношению к случаю 1.

Следствие для случаев 1 и 2. Замечание справедливо, если $\tau = const$, $p' = const$, $\mu = const$.

Обсуждение результатов оценки эффективности разработанных гибридных моделей. В работе предложены результаты разработки и исследований гибридных моделей на основе интеграции стохастических и нечетких графов.

Показано, что стохастические графы реализуют совместно с нечеткой сетью Петри (1) гибридную модель, эффективность которой показана в виде решения функционала (5). В задачах выбора альтернатив, на основе правила Мейсона, выполнены расчеты по оценке временных затрат W_{ij} . Для нечетких графов (7) на основе эквивалентного нечеткого графа W_Σ определено, что $W_{ij}(\tau) \gg W_\Sigma(\tau)$ при условии $\tau = const$, $\mu = const$, $p' = const$.

Оценка вычислительной сложности на основе интеграции нечеткой сети Петри и нечеткого графа. Пусть задана передаточная функция нечеткого графа

$$W_\Sigma = A \wedge K(2n + 3). \quad (12)$$

Утверждение 4. Если задана функция (13) и $A = const$, $K = const$, то вычислительная сложность является линейной $O = a_1 n + a_0$ или

$$O(\tau) \approx O(n), \quad (13)$$

где $O(\tau)$ – вычислительная сложность, n – число итераций.

Достоверность утверждения подтверждена экспериментально (рис. 6).

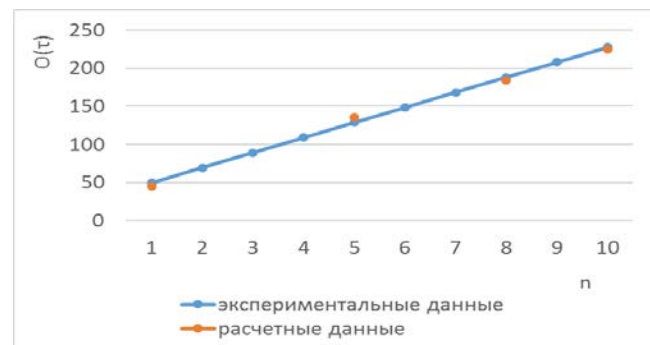


Рис. 6 – Зависимость вычислительной сложности от числа итераций

Экспериментом подтверждена адекватность модели по критерию вычислительной сложности, причем

$$|\epsilon^{(p)} - \epsilon^{(s)}| < \epsilon^*,$$

где ϵ^* – норма ошибки.

Выводы

1. Выполнен анализ литературных источников, определены актуальность, цели и задачи исследований. Сформулирована постановка проблемы.

2. Предложена структура гибридной модели на основе интеграции стохастических и нечетких графов, которая является развитием существующих сетей Петри.

3. Предложено расширение модели \tilde{S}_Ω , которая функционально расширяет возможности для решения широкого класса задач. Модель функционирует на множестве ограничений на параметры стохастических и нечетких графов.

4. Выполнены экспериментальные исследования для выявления эффективности рассматриваемых моделей и процессов, подтверждена адекватность модели и процессов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках исследований госбюджетной НИР «Нейро-фаззи системы для текущей кластеризации и классификации последовательностей данных в условиях их искривления отсутствующими и аномальными наблюдениями» (№ гос. регистрации 0113U000361).

В рамках выполняемой НИР решены также задачи практической реализации и внедрения на реальных объектах.

Список литературы: 1. Бодянский, С. В. Нейро-фаззи моделі в системах штучного інтелекту [Текст] / С. В. Бодянский, С. І. Кучеренко. – Х. : ХНУРЕ, 2006. – 177 с. 2. Танака, К. Итоги рассмотрения факторов неопределенности и неясности в инженерном искусстве [Текст] / К. Танака // Нечеткие множества и теория возможностей. – М. : Радио и связь, 1986. – С. 37–50. 3. Сироджа, И. Б. Квантовые модели и методы инженерии знаний в задачах искусственного интеллекта [Текст] / И. Б. Сироджа // Искусственный интеллект. – СПб.: «Наука і освіта», 2002. – № 3. – С. 161–171. 4. Анализ проблем использования математических моделей для снижения уровня неопределенности принятия УР... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=45888>. 5. Вейцман, К. Распределенные системы мини- и микроЭВМ [Текст] / К. Вейцман. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 362 с. 6. Филлипс, Д. Методы анализа сетей [Текст] / Д. Филлипс, А. Гарсия-Диас. – М. : Мир, 1984. – 496 с. 7. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем [Текст] / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха. – М. : Мир, 1976. – 344 с. 8. Дмитриев, А. К. Основы теории построения и контроля сложных систем [Текст] / А. К. Дмитриев, П. А. Мальцев. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 192 с. 9. Глушков, В. М. Моделирование развивающихся систем [Текст] / В. М. Глушков, В. В. Иванов, В. М. Яненко. – М. : Наука, 1983. – 350 с. 10. Кучеренко, С. І. Геоінформаційні технології та фаззи-моделі в управлінні складними об'єктами [Текст] / С. І. Кучеренко, І. С. Глушенкова, С. О. Глушенко // Системи обробки інформації, 2014. – № 6. – С. 46–50. 11. Колесников, А. В. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем [Текст] / А. В. Колесников, И. А. Кириков. – М. : ИПИ РАН, 2007. – 387 с. 12. Котельников, В. А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи [Текст] / В. А. Котельников // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933. Репринт статьи в журнале УФН, 176:7 (2006). – С. 762–770. 13. Бодянский, С. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения [Текст] / С. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Х. : ТЕЛТЕХ, 2004. – 369 с.

Bibliography (transliterated): 1. Bodjans'kij, Ye., Kucherenko, Ye. (2006). Neiro-fazzi modeli v sistemah shuchnogo intelektu. Harkiv: HNURE, 177. 2. Tanaka, K. (1986). Itogi rassmotrenija faktorov neopredelennosti i nejasnosti v inzhenernom iskusstve. Nечetkie mnozhestva i teorija vozmozhnostej. Moscow: Radio i svjaz', 37–50. 3. Sirodzha, I. (2002). Kvantovye modeli i metody inzhenerii znaniy v zadachah iskusstvennogo intellekta. Iskusstvennyj intellekt. IPSH: «Nauka i osvita», 3, 161–171. 4. Analiz problem ispol'zovanija matematicheskijh modelej dlja snizhenija urovnja neopredelennosti prinjatija UR... – Rezhim dostupa: <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=45888>. 5. Vejzman, K. (1983). Raspredelennye sistemy mini- i mikroEVM. Moscow: Finansy i statistika, 362. 6. Fillips, D., Garsia-Dias, A. (1984). Metody analiza setej. Moscow: Mir, 496. 7. Mesarovich, M., Mako, D., Takahara, I. (1976). Teorija ierarhicheskijh mnogourovnevnyh sistem. Moscow: Mir, 344. 8. Dmitriev, A., Mal'cev, P. (1988). Osnovy teorii postroenija i kontrolja slozhnyh sistem. Leningrad: Energoatomizdat, Leningr. otd-nie, 192. 9. Glushkov, V., Ivanov, V., Janenko, V. (1983). Modelirovanie razvivajushhijhsja sistem. Moscow: Nauka, 350. 10. Kucherenko, Ye., Glushenkova, I., Glushenkov, S. (2014). Geoinformacijni tehnologii' ta fazzi-modeli v upravlinni skladnymy ob'jektamy. Sistemy obrabotki informacii, 6, 46–50. 11. Kolesnikov, A., Kirikov, I. (2007). Metodologija i tehnologija reshenija slozhnyh zadach metodami funkcional'nyh gibridnyh intelektual'nyh sistem. Moscow: IPI RAN, 387. 12. Kotel'nikov, V. (2006). O propusknnoj sposobnosti jefira i provoloki v telectrosvjazi. Materialy k I Vsesojuznomu s'ezdu po voprosam tehnicheckoj rekonstrukcii dela svjazj i razvitija slabotochnoj promyshlennosti, 1933. Reprint stat'i v zhurnale UFN, 176:7, 762–770. 13. Bodjanskij, Ye., Rudenko, O. (2004). Iskusstvennye nejronnye seti: arhitektury, obuchenie, primenenija. Harkov: TELETEH, 369.

Поступила (received) 16.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кучеренко Євген Іванович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри штучного інтелекту; пр. Леніна, 14, м. Харків, Україна, 61166;

Кучеренко Євгеній Іванович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри искусственного интеллекта; пр. Леніна, 14, г. Харьков, Украина,

Kucherenko Yevgeny – Dr.Sc., Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics; Lenin Ave, 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel. (057) 702-13-37.

Глушенкова Ірина Сергіївна – кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, доцент кафедри геоінформаційних систем, оцінки землі та нерухомого майна; вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002; тел.: (057)-707-33-29; e-mail: irina.glushenkova@kname.edu.ua.

Глушенкова Ірина Сергеевна – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, доцент кафедры геоинформационных систем, оценки земли и недвижимого имущества; ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: (057)-707-33-29;

Glushenkova Irina – Ph.D., Associate professor, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv; Revolutsii street, 12, Kharkiv, Ukraine, 61002; tel.: (057)-707-33-29

Глушков Сергій Олександрович – Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, аспірант; вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002; тел.: (057)-707-33-58;

Глушков Сергей Александрович – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, аспирант; ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: (057)-707-33-58;

Glushenkov Sergey – Postgraduate student, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv; Revolutsii street, 12, Kharkiv, Ukraine, 61002; tel.: (057)-707-33-58; e-mail: serge.glushenkov@kname.edu.ua.

УДК 621.646-62-82:519.87

Т. Я. ТАВАНЮК

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА

Представлена типовая нелинейная математическая модель следящего привода с дроссельным регулированием. Математическая модель адаптирована на приводы специального технологического оборудования, построенные на основе стандартных модулей, с использованием для оценки динамических характеристик паспортных данных устройств привода. Даны рекомендации по заданию исходных данных и выбору граничных данных условий для численного моделирования математической системы. Представлена оценка устойчивости, качества регулирования и коррекции динамических свойств привода.

Ключевые слова: следящий привод, электрогидравлический усилитель, математическая модель, динамические характеристики.

Введение. Современное специальное технологическое оборудование, в частности оборудование для механической обработки материалов, предъявляет высокие требования к характеристикам приводов по точности реализации заданных законов движения выходного звена, что достигается использованием следящего привода (СП).

Анализ последних исследований и публикаций. Важным этапом в проектировании ЭГСП является оценка устойчивости, качества регулирования и коррекция динамических свойств привода. Выполнение данного этапа связано с разработкой математической модели нестационарных электрогидромеханических процессов, протекающих в приводе. Математические модели динамических процессов, представленные в литературе [1 – 4], не могут быть обобщены на весь класс рассматриваемых ЭГСП. Ряд из них ориентирован на определенные конструкции устройств привода, в особенности ЭГУ (в основном

авторы рассматривают двухкаскадные ЭГУ типа сопло-заслонка-золотник с пружинным подпором золотника). В своем большинстве модели требуют определения параметров, которые не могут быть оценены из паспортных данных стандартных устройств или выявлены на стадии предварительного проектирования. Удобные в рассмотрении линейные модели допускают ряд существенных упрощений (аппроксимация расходно-перепадных характеристик, исключение зон насыщения и нечувствительности и др.). В этой связи возникает потребность иметь универсальную модель СП. Так как проектирование приводов чаще всего осуществляется на базе стандартных модулей [5–7], данная модель должна предельно отражать характеристики элементов и динамические процессы для минимального набора параметров, содержащихся в технических данных номенклатуры выпускаемых устройств.

Пример следящего привода с дроссельным регулированием представлен на рис. 1.

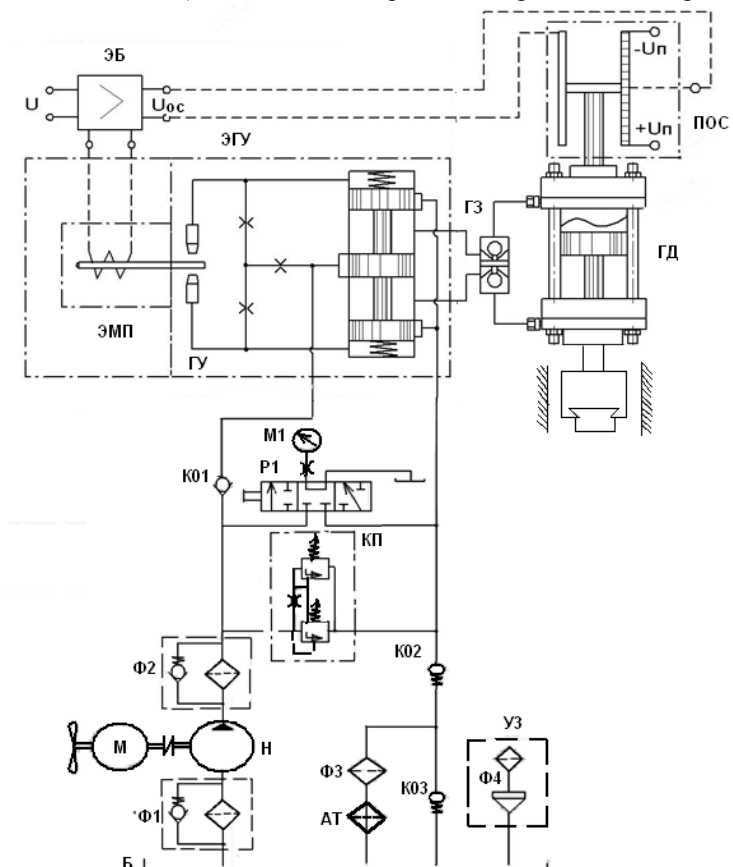


Рис. 1 – Принципиальная схема СП: ЭБ – электрический блок; ЭМП – электромеханический преобразователь; ГУ – гидроусилитель; ЭГУ – электрогидравлический усилитель; ГД – гидродвигатель ©Т. Я. Таванюк. 2015

©Т. Я. Таванюк. 2015

Целью работы является разработка типовой нелинейной математической модели электрогидравлического следящего привода с дроссельным регулированием, адаптированной на приводы специального технологического оборудования, построенные на основе стандартных модулей, с использованием для оценки динамических характеристик паспортных данных устройств привода.

Материалы и результаты исследования. Выделим основные элементы ЭГСП: ГД, ЭГУ, ДОС, ЭБ. В дальнейшем рассматриваем расчетную схему привода, представленную на рис. 2, а.

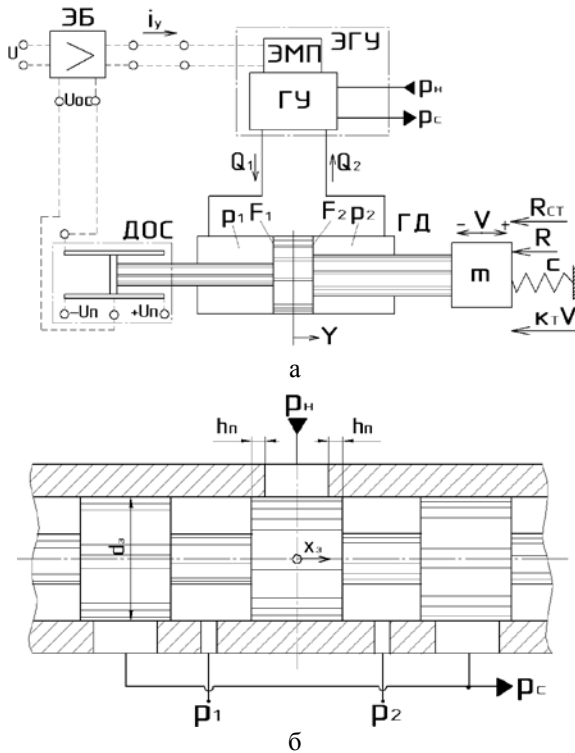


Рис. 2 – Расчетная схема привода: а - расчетная схема ЭГСП; б – расчетная схема выходного каскада ЭГУ

Для ГД поступательного действия общепринятая динамическая модель [1] представлена системой из уравнений движения поршня и уравнений баланса расходов в полостях гидроцилиндра с учетом сжимаемости рабочей жидкости:

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = p_1 F_1 - p_2 F_2 - cY - k_T V - R_{CT} \text{sign} V - R; \\ \frac{dY}{dt} = V, -H/2 \leq Y \leq H/2; \\ \frac{W_{HO} + F_1(H/2 + Y)}{E_J} \frac{dp_1}{dt} = Q_1 - F_1 V; \\ \frac{W_{HO} + F_2(H/2 - Y)}{E_J} \frac{dp_2}{dt} = -Q_2 + F_2 V. \end{cases} \quad (1)$$

где Y, V – перемещение и скорость поршня (обычно перемещение поршня считают от его среднего положения); p_1, p_2 – давления в полостях гидроцилиндра; m – приведенная масса подвижных частей; F_1, F_2 – эффективные площади; c – жесткость позиционной нагрузки; k_T – коэффициент силы вязкого трения; R_{CT} – сила сухого трения; R – нагрузка; H – ход поршня;

E_J – модуль упругости рабочей жидкости; W_{HO}, W_{CO} – «мертвые» объемы напорной и сливной магистралей.

ДОС принято описывать линейным безинерционным звеном [8], связывающим напряжение обратной связи U_{OC} и перемещение Y :

$$U_{OC} = k_{OC} Y, \quad (2)$$

где k_{OC} – коэффициент передачи ДОС.

ЭГУ в номенклатуре серийно выпускаемой гидроаппаратуры представлены как дросселирующие гидрораспределители и распределители с пропорциональным управлением [6]. В выходном каскаде усиления ЭГУ обычно используется золотниковый гидроусилитель, расчетная схема которого приведена на рис. 2, б. Предлагается связывать смещение золотника от нейтрального положения x_3 с током в обмотке управления i_y линейным динамическим звеном второго порядка:

$$T_{2y} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + T_{1y} \frac{dx_3}{dt} + x_3 = k i_y, \quad (3)$$

здесь k_{xi} – коэффициент передачи ЭГУ.

Постоянные времени T_{2y}, T_{1y} известным образом [9] определяются по частотам ν_1, ν_2 :

$$T_{2y} = \frac{1}{2\pi\nu_2}; T_{1y} = \frac{1}{2\pi\nu_1} - \frac{2\pi\nu_1}{(2\pi\nu_2)^2}. \quad (4)$$

Золотник имеет ограничения по перемещению, что отражается уравнением $|x_3| \leq x_{max}$, где x_{max} – максимальное смещение золотника от нейтрального положения.

Уравнения расходов в линиях ЭГУ, связывающих его с ГД, с учетом положительного перекрытия поясками золотника окон в распределительной втулке имеют вид:

$$Q_x = \begin{cases} \mu_3 \pi d_3 k_n (h - n) \sqrt{\frac{2}{\rho} |p - p_1|} * \\ \text{sign}(pp - x), h > n; \\ h \quad 0, |x_3| \leq n; \\ \mu_3 \pi d_3 k_n (h + n) \sqrt{\frac{2}{\rho} |p - c|} \\ \text{sign}(pp - x), h < n; \end{cases} \quad (5)$$

$$Q_x = \begin{cases} \mu_3 \pi d_3 k_n (h - n) \sqrt{\frac{2}{\rho} |p - c|} * \\ \text{sign}(pp - x), h > n; \\ h \quad 0, |x_3| \leq n; \\ \mu_3 \pi d_3 k_n (h + n) \sqrt{\frac{2}{\rho} |p - p_2|} * \\ \text{sign}(pp - x), h < n; \end{cases} \quad (6)$$

где p_H, p_C – давление насосной станции и на сливе; h_n – величина положительного перекрытия; μ_3 – коэффициент расхода щели золотника; d_3 – диаметр золотника; k_n – коэффициент полноты использования периметра золотника; ρ – плотность рабочей жидкости.

ЭБ на стадии предварительного проектирования ЭГСП рассматривается как идеальный усилитель [10]:

$$U_{yc} = k_{yc}(U - U_{oc}), \quad (7)$$

где U – входное (управляющее) напряжение; U_{yc} – напряжение на выходе ЭБ; k_{yc} – коэффициент усиления ЭБ.

Выходной каскад ЭБ соединен с управляющей обмоткой ЭГУ и образует с ней единую электрическую цепь, содержащую как активное, так и индуктивное сопротивление. Поэтому, без учета противо-ЭДС, имеем следующее дифференциальное уравнение:

$$L_y \frac{di_y}{dt} + R_3 i_y = U_{yc}, \quad (8)$$

где L_y – индуктивность обмотки управления; R_3 – активное сопротивление электрической цепи.

Также, ЭБ ограничивает ток в электрической цепи максимальным значением i_{max} для управляющей обмотки ЭГУ:

$$|i_y| \leq i_{max}. \quad (9)$$

Для сокращения числа исходных параметров, упрощения математической модели и удобства анализа результатов представим уравнения в безразмерной форме. С этой целью введем безразмерные переменные:

$$\begin{cases} \bar{U} = U / U^*; \bar{U}_{yc} = U_{yc} / U^*; \bar{U}_{oc} = U_{oc} / U^*; \\ \bar{i} = i_y / i^*; \bar{x} = x / x^*; \\ \bar{Q}_1 = Q_1 / Q^*; \bar{Q}_2 = Q_2 / Q^*; \\ \bar{p}_1 = p_1 / p^*; \bar{p}_2 = p_2 / p^*; \bar{R} = R / R^*; \\ \bar{Y} = Y / Y^*; \bar{V} = V / V^*; \end{cases} \quad (10)$$

где масштабы переменных определены следующим образом:

$$\begin{cases} U^* = k_{oc} H / 2; i^* = i_{max}; x^* = x_{max}; \\ Q^* = \mu_3 \pi d_3 k_{II} x^* \sqrt{\frac{p_H}{\rho}}; p^* = p_H; \\ Y^* = H / 2; V^* = Q^* / F_1; R^* = p_H F_1. \end{cases} \quad (11)$$

Считая линейной статическую характеристику ЭГУ $x_3(i_y)$, можно положить, что $k_{Xi} = x_{max} / i_{max}$. Тогда для безразмерных переменных (10) с учетом (11) имеем систему уравнений:

$$\begin{cases} \bar{U}_{oc} = k_{oc}^2 \bar{Y}; \\ \bar{U}_{yc} = k_{yc}(\bar{U} - \bar{U}_{oc}); \\ T_0 \frac{d\bar{i}}{dt} + \bar{i} = k_0 \bar{U}_{yc}; \\ |\bar{i}| \leq 1; \\ T_{2y}^2 \frac{d^2 \bar{x}}{dt^2} + T_{1y} \frac{d\bar{x}}{dt} + \bar{x} = \bar{i}; |\bar{x}| \leq 1; \\ |\bar{x}| \leq 1; \\ \bar{Q}_1 = \begin{cases} (\bar{x} - \bar{h}) \sqrt{2|1 - \bar{p}_1|} * \\ * \text{sign}(1 - \bar{p}_1), \bar{x} > \bar{h}; \\ 0, |\bar{x}| \leq \bar{h}; \\ (\bar{x} + \bar{h}) \sqrt{2|\bar{p}_2 - \bar{p}_c|} * \\ * \text{sign}(\bar{p}_2 - \bar{p}_c), \bar{x} < -\bar{h}; \end{cases} \\ \bar{Q}_2 = \begin{cases} (\bar{x} - \bar{h}) \sqrt{2|\bar{p}_2 - \bar{p}_c|} * \\ * \text{sign}(\bar{p}_2 - \bar{p}_c), \bar{x} > \bar{h}; \\ 0, |\bar{x}| \leq \bar{h}; \\ (\bar{x} + \bar{h}) \sqrt{2|1 - \bar{p}_2|} * \\ * \text{sign}(1 - \bar{p}_2), \bar{x} < -\bar{h}; \end{cases} \\ T_1 \frac{d\bar{p}_1}{dt} = \frac{1}{1 + \bar{W}_{HO} + \bar{Y}} (\bar{Q}_1 - \bar{V}); \\ T_2 \frac{d\bar{p}_2}{dt} = \frac{1}{1 + \bar{W}_{CO} - \bar{Y}} (-\bar{Q}_2 + k_1 \bar{V}); \\ T_3 \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{p}_1 - k_1 \bar{p}_2 - k_2 \bar{Y} - k_3 \bar{V} - \\ - k_4 \text{sign}(\bar{V}) - \bar{R}; \\ T_4 \frac{d\bar{Y}}{dt} = \bar{V}; \\ |\bar{Y}| \leq 1. \end{cases} \quad (12)$$

Здесь постоянные времени и безразмерные параметры:

$$\begin{cases} T_0 = \frac{L_y}{R_3}; T_1 = \frac{F_1 H p_{HH}}{2 E_{ж} Q^*}; T_2 = \frac{F_2 H p}{2 E_{ж} Q^*}; \\ T_3 = \frac{m V^*}{p_H F_1}; T_4 = \frac{H}{2 V^*}; \\ k_0 = \frac{k_{oc} H}{2 i_{max} R_3}; k_1 = \frac{F_2}{F_1}; k_2 = \frac{c H}{2 p_H F_1}; \\ k_3 = \frac{k_T V^*}{p_H F_1}; k_4 = \frac{R_{CT}}{p_H F_1}; \\ \bar{h} = \frac{h_{II}}{x_{max}}; \bar{p}_c = \frac{p_c}{p_H}; \bar{W}_{HO} = \frac{2 W_{HO}}{F_1 H}; \\ \bar{W}_{CO} = \frac{2 W_{CO}}{F_2 H}. \end{cases} \quad (13)$$

Для численного моделирования по системе (12) отметим рекомендации по заданию исходных параметров. На стадии предварительного проектирования были выбраны серийно выпускаемые узлы ЭГСП. На данной стадии известны, либо оценены, такие параметры, как коэффициент усиления ЭБ $k_{ус}$; ход поршня H ; приведенная масса подвижных частей m ; давления насосной станции p_n и на сливе p_c ; модуль упругости рабочей жидкости $E_{ж}$; «мертвые» объемы напорной $W_{но}$ и сливной $W_{со}$ магистралей; жесткость позиционной нагрузки c . По техническим данным данным гидроцилиндра определяются значения эффективных площадей F_1, F_2 ; коэффициент силы вязкого трения k_T ; сила сухого трения $R_{ст}$. Коэффициент передачи $k_{ос}$ оценивается по техническим данным ДЭС. По техническим характеристикам ЭГУ устанавливаются индуктивность обмотки управления L_y ; постоянные времени T_{1y}, T_{2y} (см. выражения 4); активное сопротивление электрической цепи R_s (сопротивление обмотки управления ЭГУ с учетом сопротивления выходного каскада ЭБ); максимальный ток i_{max} (либо принимается равным номинальному току $i_{ном}$ по паспортным данным). Значение масштаба расхода Q^* следует оценивать по номинальному расходу ЭГУ $Q_{ном}$, который указывается в паспортных данных для номинального перепада давлений $\Delta p_{ном}$ в каналах питания и слива ЭГУ.

Поскольку согласно (11):

$$Q^* = \mu_3 \pi d_3 k_{п \max} \sqrt{\frac{p_n}{\rho}}, \quad (14)$$

а номинальный расход есть:

$$Q_{ном} = \mu_3 \pi d_3 k_{п \max} \sqrt{\frac{\Delta p_{ном}}{\rho}}, \quad (15)$$

поэтому:

$$Q^* = Q_{ном} \sqrt{\frac{p_n}{\Delta p_{ном}}} \frac{1}{1-h}. \quad (16)$$

Величину безразмерного перекрытия $\bar{h} = h_{п \max} / h_{н \max}$ допустимо взять равной относительно току зоны нечувствительности (в серийно выпускаемых ЭГУ не более 0,02). Масштаб скорости V^* рассчитывается по Q^* согласно (11). Необходимые для подстановки в систему (12) дополнительные параметры определяются по выражениям (13).

Также, для численного моделирования необходима подстановка граничных условий для входного напряжения U и нагрузки R , вид которых определяется характером исследуемого процесса. Граничные условия подставляются в безразмерном виде согласно (11) с масштабами переменных (12).

При необходимости результаты моделирования по выражениям (11, 12) можно представить в размерном виде (за исключением перемещения золотника, поскольку максимальное перемещение x_{max} введено условно для упрощения математической модели).

В сравнении с известными нелинейными моделями ЭГСП [1, 7, 9], учитывающими основные факторы, обуславливающие нестационарные процессы (сжимаемость рабочей жидкости, инерционность выходного звена, индуктивность электрической цепи, динамические свойства ЭГУ), представленная модель

имеет минимальный набор исходных параметров и является универсальной для приводов, построенных по типовой схеме (рис.2, б). Вместе с тем, учет основных нелинейностей дает заметный выигрыш в точности расчета по сравнению с линейными моделями. Это показывают результаты численного моделирования переходных процессов при различных уровнях входного сигнала, представленные на рис. 3. Как видно, от величины скачка управляющего напряжения зависит не только длительность процесса, но и его качество.

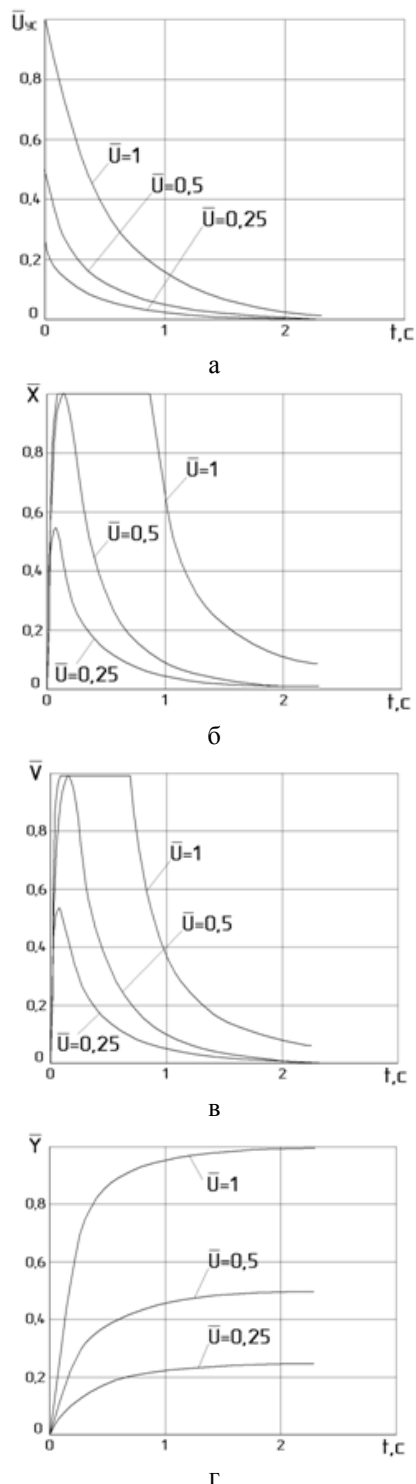


Рис. 3 – Результаты численного моделирования динамических процессов в ЭГСП: а – напряжение на выходе ЭБ; б – перемещение золотника выходного каскада ЭГУ; в – скорость поршня; г – перемещение поршня

Численное интегрирование системы (12) проведено методом Рунге-Кутты 4-го порядка в среде пакета прикладных программ MATLAB (программа SLPR) для следующих исходных данных: нагрузка $R = 6000 \text{ Н}$; эффективные площади гидроцилиндра $F_1 = 0,00377 \text{ м}^2$, $F_2 = 0,0045 \text{ м}^2$ (диаметр поршня 80 мм, диаметры штоков 40 и 25 мм); ход поршня $H = 250 \text{ мм}$; давление насосной станции $p_n = 6,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$; давление на сливе $p_c = 0$; модуль упругости рабочей жидкости $E_{ж} = 10^9 \text{ Па}$; «мертвые» объемы напорной и сливной магистралей $W_{HO} = W_{CO} = 0,002 \text{ м}^3$; сила сухого трения $R_{ст} = 0$; жесткость позиционной нагрузки $c = 0$; коэффициент силы вязкого трения $k_t = 1000 \text{ кг/с}$; приведенная масса подвижных частей $m = 200 \text{ кг}$; коэффициент передачи ДОС $k_{oc} = 216 \text{ В/м}$; номинальный расход ЭГУ $Q_{ном} = 0,00063 \text{ м}^3/\text{с}$; номинальный перепад давлений на ЭГУ $\Delta p_{ном} = 7 \cdot 10^6 \text{ Па}$; постоянные времени ЭГУ $T_{1y} = 0,0215 \text{ с}$, $T_{2y} = 0,0053 \text{ с}$ (что соответствует сдвигу по фазе на -45° и 90° при частотах $\nu_1 = 45 \text{ Гц}$ и $\nu_2 = 90 \text{ Гц}$); величина безразмерного перекрытия $\bar{h} = 0,01$; индуктивность обмотки управления $L_y = 0,2 \text{ Гц}$; активное сопротивление электрической цепи $R_3 = 100 \text{ Ом}$; номинальный ток $i_{ном} = 0,01 \text{ А}$; коэффициент усиления ЭБ $k_{yc} = 0,09$; масштаб расходов $Q^* = 0,0006 \text{ м}^3/\text{с}$.

Выводы. Таким образом, предложена типовая нелинейная математическая модель электрогидравлического следящего привода с дроссельным регулированием. Математическая модель адаптирована на приводы специального технологического оборудования, построенные на основе стандартных модулей, и позволяет производить оценку устойчивости, качества

регулирования и коррекцию динамических свойств привода с использованием паспортных данных входящих устройств.

Список литературы: 1. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем [Текст] / Д. Н. Попов. – М.: Машиностроение, 1976. – 424 с. 2. Хохлов, В. А. Электрогидравлический следящий привод [Текст] / В. А. Хохлов. – М.: Наука, 1964. – 239 с. 3. Чупраков, Ю. И. Электрогидравлические следящие приводы [Текст] / Ю. И. Чупраков. – М.: МАДИ, 1977. – 88 с. 4. Терских, В. З. Сравнительный анализ динамических свойств дроссельных гидроприводов [Текст] / В. З. Терских. – Изд. вузов. Машиностроение, 1976. – No7. – С. 59–62. 5. Абрамов, Е. И. Элементы гидропривода [Текст] : справочник / Е. И. Абрамов, К. А. Колесниченко, В. Т. Маслов. – К.: «Техника», 1977. – 320 с. 6. Чупраков, Ю. И. Электрогидравлические усилители [Текст] / Ю. И. Чупраков. – М.: МАДИ, 1975. – 124 с. 7. Свеишников, В. К. Станочные гидроприводы [Текст] : справочник / В. К. Свеишников, А. А. Усов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 512 с. 8. Прокофьев, В. Н. Динамика гидропривода [Текст] / В. Н. Прокофьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 287 с. 9. Навроцкий, К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов [Текст] / К. Л. Навроцкий. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с. 10. Попов, Д. Н. Оценка эффективности и оптимальное проектирование гидроприводов [Текст] / Д. Н. Попов // Вестник машиностроения. – 1986. – No 9. – С. 20–23.

Bibliography (transliterated): 1. Popov, D. N. (1976). Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevmosistem. Moscow: Mashinostroenie, 424. 2. Hohlov, V. A. (1964). Jelektrogidravlicheskiy sledjashhij privod. Moscow: Nauka, 239. 3. Chuprakov, Yu. I. (1977). Elektrogidravlicheskie sledyaschie privodyi. Moscow: MADI, 88. 4. Terskih, V. Z. (1976). Sravnitelnyiy analiz dinamicheskikh svoystv drosselnyih gidroprivodov. Izd. vuzov. Mashinostroenie, No7, 59–62. 5. Abramov, E. I. (1977). Elementyi gidroprivoda : spravochnik. Kyiv: «Tehnika», 320. 6. Chuprakov, Yu. I. (1975). Elektrogidravlicheskie usiliteli. Moscow: MADI, 124. 7. Sveshnikov, V. K. (1988). Stanochnyie gidroprivodyi: spravochnik. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Mashinostroenie, 512. 8. Prokofev, V. N. (1972). Dinamika gidroprivoda. Moscow: Mashinostroenie, 287. 9. Navrotskyi, K. L. (1991). Teoriya i proektirovanie gidro- i pnevmopriwodov. Moscow: Mashinostroenie, 384. 10. Popov, D. N. (1986). Otsenka effektivnosti i optimalnoe proektirovanie gidroprivodov. Vestnik mashinostroeniya, No 9, 20–23.

Поступила (received) 13.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Таванюк Тетяна Яківна – кандидат технічних наук, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, доцент кафедри «Машинобудування, верстати та інструменти»; пр. Радянський, 59-а, м Северодонецьк, Україна, 93400; тел.: 050-695-99-75; e-mail: ttavanyuk@gmail.com.

Таванюк Тат'яна Яковлевна – кандидат технічних наук, Восточноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, доцент кафедри «Машиностроєння, станки та інструменти»; пр. Советський, 59-а, г. Северодонецьк, Луганська область, Україна, 93400; тел.: 050-695-99-75; e-mail: ttavanyuk@gmail.com.

Tavanyuk Tatyana – candidate of technical sciences, Eastukrainian National University of Volodymyr Dahl, assistant professor of department of Machine building, machine tools and instruments; pr. Sovtskyu, 59, Severodonetsk, Ukraine, 93400; tel.: 050-695-99-75; e-mail: ttavanyuk@gmail.com.

УДК 519.876.5:622.778

В. О. МИЩЕНКО, В. И. ОЛЕВСКИЙ, Ю. Б. ОЛЕВСКАЯ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ДЕШЛАМАЦИИ МАГНЕТИТА

Статья посвящена математическому моделированию процесса магнитной дешламации магнетита с целью автоматизации технологического процесса. Разработаны модели двухфазного ламинарного осесимметричного течения и двухфазного трехмерного вихревого течения на основе программного комплекса SolidWorks компании Dassault Systemes SolidWorks Corporation. Проведен численный расчет моделей, исследованы зависимости качества обогащения от параметров дешламации. Эти модели позволяют подбирать интенсивные технологические режимы и оптимальные параметры обогатительного оборудования. Они могут быть использованы непосредственно в системе автоматического управления технологическим процессом обогащения.

Ключевые слова: автоматизация, математическая модель, магнитная дешламация, обогащение магнетита.

© В. О. Мищенко, В. И. Олевский, Ю. Б. Олевская. 2015

Введение. В настоящее время актуальна задача увеличения добычи сырья при экономии энергоресурсов и материалов с использованием автоматизированного управления технологическим процессом обогащения железорудного концентрата. Особое место в подготовке сырья занимает процесс магнитной дешламации - операция тонкого отделения шламов и сгущения слива [1]. Этот сложный процесс, на который влияет целый ряд факторов, и в первую очередь – гидродинамические характеристики движения пульпы, требует автоматизация ради его интенсификации. Это, однако, невозможно без математического моделирования, которое позволяет обоснованно выбирать интенсивные технологические режимы и оптимальные параметры конструкции дешламатора.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Изучение влияния разных факторов на процесс обогащения ранее проводился путем решения упрощенных уравнений механики сплошной среды для простых областей и граничных условий [2, 3]. Решалась задача определения скорости осаждения частиц в среде или скорости изменения плотности пульпы по заданным размерам и плотности частиц, вязкости и плотности среды [3-5]. Первые формулы в этой области (для частицы шарообразной формы) получили Стокс и Ретингер, а позднее Релей получил зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса [4]. В работе И.С. Павлушенко [6] было получено уравнение, которое учитывает влияние равнодействующей силы тяжести и архимедовой силы, а силы внутреннего давления отсутствуют, поскольку их влияние считается пренебрежимо малым. Формула равенства веса тела в среде и силы сопротивления трения вязкой среды для ламинарного режима движения жидкости была приведена к уравнению относительно критериев Архимеда Ar и Лященко L_y [4]. Для переходной области выводится формула Аллена из равенства веса тела в среде и подъемной силы потока [7], а для турбулентного режима движения подходит формула Ньютона-Реттингера, учитывающая равенство веса тела и силы сопротивления среды. Обсуждаемые уравнения сводятся [7] к виду

$$L_y = c \cdot Ar^m. \quad (1)$$

Существующие модели обогащения описывают процесс дешламации приближенно, качественно. Эти модели, преимущественно одномерные, практически не учитывают конструктивных особенностей конкретных аппаратов и реальных условий обогащения. Они описывают движение твердых частиц, не затрагивая обобщенных характеристик технологического процесса, необходимых для его автоматизации.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является создание многофакторных математических моделей, пригодных для использования в системах автоматического управления процессом дешламации.

Для этого следует моделировать движение двухфазной среды с учетом формы дешламатора и технологических параметров процесса обогащения; создать на этой основе метод получения зависимостей параметров качества обогащения от технологических и конструктивных факторов.

Методы моделирования дешламации магнетита. Методической основой моделирования служат аналитический расчет полей скоростей жидкости в чане дешламатора при осесимметричном двумерном движении, численный метод расчёта трехмерного вихревого движения двухфазной среды при дешламации, его реализация методом сеток и настройкой комплекса SolidWorks EDU Edition Network и, в итоге, проведение многофакторного имитированного численного эксперимента.

Объект исследования - это процесс дешламации магнетита.

Предмет исследования – математические модели зависимости качества дешламации от параметров конструкции и технологического процесса.

При расчете движения жидкости и руды в чане дешламатора форма частиц учитывается только при нахождении коэффициента сопротивления. Предполагается, что в чане не происходит дробление частиц, а коагуляция железа происходит вблизи отверстия для выгрузки песков. В общем случае траектория частицы, обладающей инерцией, не совпадает с линией тока сплошной фазы. Малости частиц позволяет пренебречь эффектом Магнуса и ориентацией частицы при движении. Вдоль траектории твердой частицы по второму закону Ньютона из условия равновесия сил уравнение движения, деленное на объем частицы $4\pi d^3/3$, имеет вид

$$\begin{aligned} \rho' \frac{d\bar{V}'}{dt} &= \rho' \bar{F} \delta\bar{V} - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \frac{\rho}{2} \frac{d}{dt} \delta\bar{V} + \\ &+ \frac{8}{d} \sqrt{\frac{\rho\mu}{\pi}} \int_{t_0}^t \frac{d\delta\bar{V}}{\sqrt{t-\tau}} d\tau + \frac{3\bar{F}_s}{4\pi d^3}, \\ \delta\bar{V} &= \bar{V} - \bar{V}' \end{aligned} \quad (2)$$

где d – диаметр частицы, ρ , ρ' – плотности сплошной фазы и частицы соответственно, \bar{V} , \bar{V}' – векторы скорости сплошной фазы и частицы соответственно, $\bar{F} = \frac{3}{8} C \frac{\rho \delta\bar{V}}{d\rho'}$ – удельная сила сопротивления, $C = C(\text{Re})$ – коэффициент сопротивления, $\text{Re} = \rho |\bar{V} - \bar{V}'| 2d/\mu$ – число Рейнольдса, \bar{P} – вектор давления, μ – вязкость сплошной фазы, \bar{F}_s – вектор сил тяжести.

Три последних слагаемых существенны лишь тогда, когда плотности сплошной среды и частицы близки по величине. Следовательно, исходя из реальной физической картины процесса дешламации, в сформированной задаче достаточно учитывать только две силы: силу тяжести и гидродинамическую силу сопротивления. В результате уравнение примет вид

$$\frac{d\bar{V}'}{dt} = F(\bar{V} - \bar{V}') + \bar{g}. \quad (3)$$

Для определения сопротивления частиц неправильной формы использовался динамический коэффициент формы $K_{\phi} = \left(\frac{\rho}{\rho'} \right)_{\text{Re=idem}}$, $C_{\text{сф}} = 2\mu/\text{Re}$ [8]. При $\text{Re} < 0,05$ для коэффициента формы f

$K_\phi = -(0,843 \lg 0,065 f)^{-1}$. Для $1 < \text{Re} < 10^3$
 $C_{сф} = 24/\text{Re} + 4/(3\sqrt{\text{Re}})$ [8]. При $f = 1,15 \div 1,50$ полу-
 чим $K_\phi = 1,161 \div 1,173$.

Система дифференциальных уравнений движения частицы в проекциях на координатные оси имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dv'}{dt} = F(v-v'), & \frac{du'}{dt} = F(u-u') + g, \\ \frac{dw'}{dt} = F(w-w'), & \frac{dx}{dt} = v', \quad \frac{dy}{dt} = u', \quad \frac{dz}{dt} = w' \end{cases} \quad (4)$$

где u, v, w – скорости сплошной фазы, u', v', w' – искомые скорости частицы вдоль осей x, y, z .

Это задача Коши для определения координат перемещения частицы x, y, z и компонентов ее скоростей u', v', w' . Для решения задачи необходимо знать поле скоростей сплошной фазы в чане дещламматора u, v, w , начальное положение и скорость частицы.

В первом приближении можно ограничиваться рассмотрением осесимметричного движения пульпы, положив $z = w' = 0$. Для моделирования потока жидкости в чане дещламматора рассмотрим взаимодействие шести стоков: двух линейных стоков с углом $\pi/2$, двух линейных стоков в углах нижнего среза диффузора с углами $2\pi - \beta$, двух стоков к отверстиям шириной D_g и D_n соответственно.

Аналогично строится модель дещламмации для трехмерного вихревого потока жидкости. Для расчета движения жидкости в этом случае необходимо использовать численные методы, например, метод сеток. Расчет удобно производит в среде Flow Simulation пакета SolidWorks [9, 10].

Полученная математическая модель параметрически зависит от начальных и граничных условий. Для того чтобы эта зависимость могла быть использована в автоматизированных системах управления, необходимо произвести ее описание в явном виде. С этой целью можно использовать метод имитационного эксперимента. В этом случае делается предположение о характере распределения исходных параметров в пределах области их определения (как правило, предполагается нормальное распределение), с помощью генерации случайных чисел производится выборка заданной мощности значений параметров и для каждого их значения производится расчет выходных параметров по полученной системе дифференциальных уравнений. Численное определение оценок коэффициентов зависимости производится на основе метода максимума правдоподобия, или другим статистическим методом построения зависимости для определенных соотношений геометрических и технологических факторов.

Рассмотрим, каким образом по построенной модели можно определить требуемые для работы системы автоматического управления технологическим процес-

сом параметры производительности по твердому P , качества песков K и и потерь железа в сливе G [1]. Зависимость между P и объемом питания дещламматора Q выглядит следующим образом:

$$Q = 10000 P / (K_{TP} K_{II} \rho + (100 - K_{II}) \rho_{II}), \quad (5)$$

где K_{TP}, K_{II} – содержание твердого и железа в питании соответственно, ρ_{II}, ρ_{III} – плотность частиц флокул и шламов соответственно.

Для определения K и G получим следующие соотношения:

$$K_{TKI} = 0,5 K_{TP} (\rho_{II} K_{II} (n_{n1} + n_{n2}) + \rho_{III} (1 - K_{II}) (2 - n_{n1} - n_{n2})) / n, \\ K_{TGI} = 0,5 K_{TP} (K_{II} \rho_{II} (2 - n_{n1} - n_{n2}) + (1 - K_{II}) \rho_{III} (n_{u1} + n_{u2})) / n, \quad (6)$$

$$K = \rho_{II} K_{II} (n_{n1} + n_{n2}) / (\rho_{II} K_{II} (n_{n1} + n_{n2}) + \rho_{III} (1 - K_{II}) (2 - n_{n1} - n_{n2})) 100\%,$$

$$G = \rho_{III} K_{II} (n_{u1} + n_{u2}) / (\rho_{II} K_{II} (n_{n1} + n_{n2}) + \rho_{III} (1 - K_{II}) (2 - n_{n1} - n_{n2})) 100\%.$$

ношения:

где n_{n1}, n_{n2} – число нефлокулированных и флокулированных частиц железа соответственно из n расчетных, достигших отверстия для выгрузки песков, n_{u1}, n_{u2} – число мелких и крупных частиц шлама соответственно из n расчетных, достигших слива, K_{TK}, K_{TG} – содержание твердого в песках и сливе соответственно.

Таким образом, определяя каждый раз численно значения коэффициентов модели для данного интервала изменения исходных факторов, мы получаем оценки искомых величин.

Результаты моделирования дещламмации магнетита. Разработанная математическая модель была использована для анализа полей скоростей и движения частиц твердой фазы в чане дещламматора. В качестве варьируемых параметров выбирались: соотношение расходов песков и слива, конусности чана и днища, диаметр отверстия для удаления песков, конфигурация диффузора, размеры бака, диаметр слива. Варьировались параметры, приведенные в табл. 1.

Расчет производился для четырех типов частиц:

- а) $\emptyset 7$ мкм, $\rho = 7,8$ кг/см³,
- б) $\emptyset 4$ мкм, $\rho = 7,8$ кг/см³,
- в) $\emptyset 7$ мкм, $\rho = 2,8$ кг/см³,
- г) $\emptyset 4$ мкм, $\rho = 2,8$ кг/см³.

Таким образом, исследовалось движение флокул магнетита (а), нефлокулированного железа (б), крупных частиц шламов (в) и мелких частиц шламов (г). В начальный момент времени частицы располагались равномерно по диаметру диффузора; скорость их в начальный момент времени принималась равной скорости жидкости в точках их расположения.

Расчет производился до момента достижения ими слива или отверстия для удаления песков. При осесимметричном движении пульпы типичная картина распределения горизонтальной (u) и вертикальной (v) скоростей движения пульпы при различной конфигурации дещламматора и диффузора показаны на рис. 1 в виде линий равных скоростей, движение жидкой фазы при трехмерном вихревом течении – на рис. 2. Траектории частиц различного размера и плотности при трехмерном вихревом течении показаны на рис. 3.

Таблица 1 – Интервалы изменения конструктивно-технологических факторов

Наименование факторов	Единицы измерения	Интервалы варьирования
1. Конусность верхней части чана	() ⁰	-20 ÷ 20
2. Конусность нижней части чана	() ⁰	0 ÷ 45
3. Диаметр слива	мм	20 ÷ 1500
4. Заглубление диффузора	мм	10 ÷ 230
5. Диаметр диффузора	мм	100 ÷ 800
6. Расход песков	м ³ /с	$1,7 \times 10^{-4} \div 3,6 \times 10^{-4}$
7. Мощность питания (объем питания)	м ³ /с	$1,7 \times 10^{-4} \div 4,2 \times 10^{-4}$
8. Конусность низа диффузора	() ⁰	-80 ÷ 80
9. Конусность верха диффузора	() ⁰	-80 ÷ 80
10. Диаметр бака	мм	50 ÷ 5000
11. Высота уровня слива	мм	80 ÷ 1000

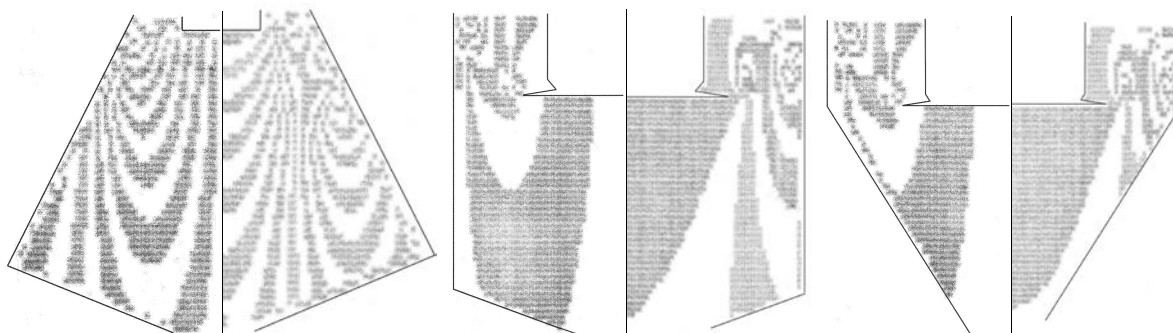


Рис. 1 – Линии равных скоростей ламинарного осесимметричного течения (левая половина – горизонтальная компонента, правая – вертикальная)

Обсуждение результатов моделирования обогащения магнетита. По мере удаления от оси симметрии чана возрастают скорости восходящих потоков и происходит активное разделение частиц. Поэтому равномерное распределение пульпы по срезам диффузора нецелесообразно. Существенно также уменьшение отверстия для удаления песков (рис. 2).

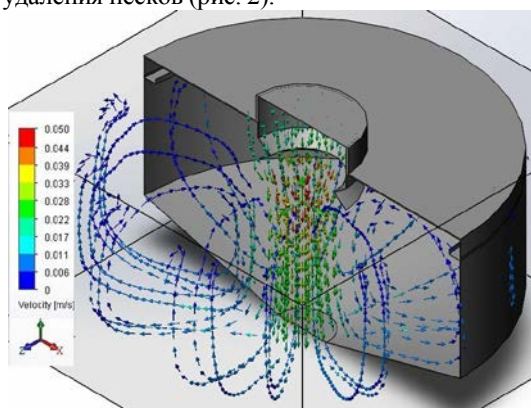


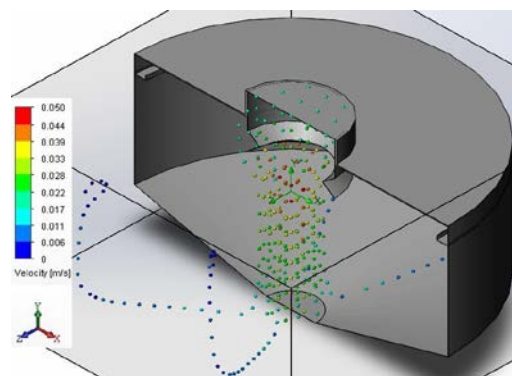
Рис. 2 – Скорости движения жидкой фазы

В верхней части чана при полном погружении диффузора в жидкость возможно скопление легких частиц вблизи поверхности бака и диффузора. Область низких скоростей и застоя наблюдается также в зоне сочленения цилиндрической и конической частей чана. Наиболее существенное влияние на разделение породы оказывает соотношение расходов удаления песков и слива, а также диаметра отверстия для удаления песков. Влияние расположения слива существенно зависит от других факторов: при сильном расходе песков эффективен более широкий слив, при малом – средний.

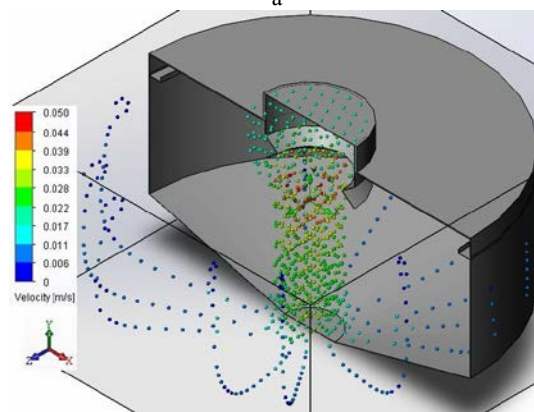
Анализ влияния конусности цилиндрической и конической частей чана показывает, что отсутствие за-

стойных зон обеспечивается при приближении чана к конической форме.

Таким образом, математическая модель должна включать все рассмотренные факторы. При этом существенное внимание следует уделить форме диффузора, а также влиянию радиуса слива и формы чана.



а



б

Рис. 3 – Траектории и скорости движения частиц: а – флоккулы, б – шламы

Выводы. В результате проведенных исследований получены математические модели дешламации магнетита и метод, позволяющий использовать их в автоматических системах управления технологическим процессом обогащения железной руды.

Список литературы: 1. *Пилов, П. И.* Математическое моделирование и структурно-экстраполяционный анализ в задачах обогащения [Текст]: монография / П. И. Пилов, А. М. Мильцын, В. И. Олевский. – 2-е изд., испр. и доп. – Д. : НГУ, 2011. – 187 с. 2. *Барский, М. Д.* О соотношении скорости витания и осаждения твердых частиц в жидкой среде [Текст] / М. Д. Барский, А. В. Говоров // Горный журнал. – 1978 г. – № 1. – С. 169–171. 3. *Лященко, П. В.* Гравитационные методы обогащения [Текст]: монография / П. В. Лященко. – М. : Гостоптехиздат. 1940. – 359 с. 4. *Кармазин, В. В.* Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых [Текст]: в 2-х т. / Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых / В. В. Кармазин, В. И. Кармазин. – М. : МГГУ, 2005 г. – 1. т. – 669 с. 5. *Кармазин, В. И.* Обогащение руд черных металлов [Текст]: монография / В. И. Кармазин. – М. : Недра, 1982. – 216 с. 6. *Павлушенко, И. С.* Свободное движение одиночных частиц в неподвижной неорганической среде [Текст] / И. С. Павлушенко // Журнал прикладной химии. – 1956. – XXIX, вып. 6. – С. 885–898. 7. *Тихонов, О. Н.* Введение в динамику массопереноса процессов обогатительной технологии [Текст]: монография / О. Н. Тихонов. – Л. : Недра, 1973. – 240 с. 8. *Клячко, Л. С.* Основы расчета процессов и аппаратов промышленной вентиляции [Текст]: монография / Л. С. Клячко. – Л. : Профиздат, 1962. – 181 с. 9. *Алямовский, А. А.* Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation [Текст]: монография / А. А. Алямов-

ский. – Часть 2. – М.: ДМК-Пресс, 2010. – 464 с. 10. *Олевский, В. И.* Имитационное моделирование гравитационного обесшламливания магнетита в системе «SolidWorks Flow Simulation» [Текст] / В. И. Олевский, А. В. Олевский // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXII міжнародної науково-практичної конференції, Ч.IV (21-23 травня 2014 р., Харків) / за ред. проф. ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л. – Харків, НТУ «ХПІ». – С. 59.

Bibliography (transliterated): 1. *Pilov, P., Miltin, A., Olevskiy, V.* (2011). Matematicheskoe modelirovaniye i strukturno-extrapolyacionniy analiz v zadachah obogashcheniya. Dnepropetrovsk: NGU, 187. 2. *Barskiy, M., Govorov, A.* (1979). O sootnoshenii skorosti vitaniya i osazhdeniya tverdykh chastic v zhidkoy srede. Gornyy gurnal, 1, 169–171. 3. *Lyashchenko, P.* (1940) Gravitacionniye metody obogashcheniya. Moscow: Gostoptehizdat, 359. 4. *Karmazin, V., Karmazin, V.* (2005) Magnitniye, elektricheskiye i specialniye metody obogashcheniya poleznykh iskopaemih. V. 1. Moscow: MGGU, 669. 5. *Karmazin, V.* (1982) Obogashcheniye rud chernih matallov. Moscow: Nedra, 216. 6. *Pavlushenko, I.* (1956) Svobodnoye dvizheniye odinochnih chastic v nepodvizhnoy neorganicheskoy srede. Zhurnal prikladnoy himii, XXIX, 6, P. 885–898. 7. *Tihonov, O.* (1973) Vvedeniye v dinamiku massoperenosa processov obogatitelnoy tehnologiyi. Leningrad: Nedra, 240. 8. *Klyachko, L.* (1962) Osnovy rascheta processov i apparatov promishlennoy ventilyacii. Leningrad: Profizdat, 181. 9. *Al'yamovskiy, A.* (2010) *nzhenerniye raschety v SolidWorks Simulation. Part 2.* Moscow: DMK-Press, 464. 10. *Olevskiy, V., Olevskiy, A.* (2014) Imitacionnoye modelirovaniye gravitacionnogo obesshlamlivaniya magnetita v sisteme “SolidWorks Flow Simulation”. Kharkov: NTU “HPI”, 59.

Поступила (received) 21.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мищенко Віктор Олегович – доктор технічних наук, доцент, Харківський національний університет імені В. М. Каразіна, професор кафедри моделювання систем і технологій, пл. Свободи 4, м. Харків, 61022, тел.: 050-40-07-160, e-mail: mischenko@kharkov.univer.ua.

Мищенко Віктор Олегович – доктор технических наук, доцент, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, профессор кафедры моделирования систем и технологий, пл. Свободы 4, г. Харьков, 61022, тел.: 050-4-007-160, e-mail: mischenko@kharkov.univer.ua.

Mishchenko Victor – doctor of technical sciences, associate professor, Kharkov National University named after V. N. Karazin; Svobody square 4, Kharkov, 61022; tel.: 050-4-007-160, e-mail: mischenko@kharkov.univer.ua.

Олевський Віктор Ісаакович – кандидат технічних наук, доцент, Український державний хіміко-технологічний університет, завідувач кафедри вищої математики, пр. Гагаріна 8, м. Дніпропетровськ, 49005, тел.: 050-34-02-207, e-mail: volevnew@gmail.com.

Олевский Виктор Исаакович – кандидат технических наук, доцент, Украинский государственный химико-технологический университет, заведующий кафедрой высшей математики, пр. Гагарина 8, г. Днепропетровск, 49005, тел.: 050-34-02-207, e-mail: volevnew@gmail.com.

Olevskiy Viktor – candidate of technical sciences, associate professor, Ukrainian state university of chemical technology, Gagarina avenue 8, Dnepropetrovsk, 49005, tel.: 050-34-02-207, e-mail:

Олевська Юлія Борисівна – кандидат фізико-математичних наук, Національний гірничий університет, доцент кафедри вищої математики, пр. Карла Маркса 19, м. Дніпропетровськ, 49600, тел.: 050-56-06-583, e-mail: ojulianew@gmail.com.

Олевская Юлия Борисовна – кандидат физико-математических наук, Национальный горный университет, доцент кафедры высшей математики, пр. Карла Маркса 19, г. Днепропетровск, 49600, тел.: 050-56-06-583, e-mail: ojulianew@gmail.com.

Olevska Yuliia – candidate of physic and mathematic sciences, associate professor, National mining University, Karl Marx avenue 19, Dnepropetrovsk, 49600, tel.: 050-56-06-583, e-mail: ojulianew@gmail.com.

УДК 656.072

АКБАР ДЖАН ПОЛАД

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАРШРУТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ

Проведен аналитический обзор существующих критериев оценки эффективности функционирования пассажирских маршрутных систем городов. Выявлены проблемы транспортного обслуживания населения города Кабул и представлены пути их решения. Предложен подход к формированию оценочного критерия, который учитывает интересы заказчиков услуг по транспортному обслуживанию в городах. Результаты исследования могут быть использованы при проведении мероприятий по усовершенствованию существующих городских пассажирских маршрутных систем, а также при разработке новых их вариантов.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, маршрутные системы городов, эффективность, затраты пассажиров на передвижения.

Введение. Выбор и обоснование критерия оценки эффективности функционирования маршрутной сети городского пассажирского транспорта (ГПТ) представляет собой наиважнейший аспект при решении всей задачи формирования маршрутной сети, поскольку полностью определяет содержание ее результатов.

Анализ современного состояния транспортного обслуживания населения г. Кабул позволил выявить следующие проблемы в организации работы ГПТ [1]: неэффективность и, зачастую, отсутствие государственных рычагов управления сферой деятельности транспортного обслуживания городского населения; практически полное отсутствие системы ГПТ и, как следствие, низкое качество обслуживания пассажиров; большая часть передвижений пассажиров осуществляется с использованием индивидуального транспорта (легковые автомобили и частные микроавтобусы); слабо развитая система транспортных магистралей, в основном, из-за сложного рельефа города, что приводит к перегрузкам транспортной системы и существенному снижению скорости передвижения (особенно в центральной части города).

Для решения выявленных и исторически сложившихся проблем транспортного обслуживания населения г. Кабул необходимо использовать комплексный подход, который заключается как в изучении и решении проблем потребностей передвижения пассажиров, формирования на их основе рациональной маршрутной системы, так и разработки перспективных направлений развития самой транспортной системы города.

Анализ литературных источников. Транспортный процесс перевозки пассажиров в городах влияет на различные стороны жизни города. Здесь можно выделить социальные, экономические, технические, демографические, экологические, эстетические последствия осуществления транспортного процесса. Каждая из сторон функционирования маршрутных транспортных систем определяет свою группу показателей, которые можно условно разделить на четыре основные группы: экономические, технические, социальные и экологические [2, 3]. Отсюда следует что, оценка эффективности функционирования маршрутных систем ГПТ является сложной многокритериальной задачей, в которой находятся две противоречивые группы показателей. С одной стороны, это экономические показатели использования подвижного состава

ГПТ, а с другой - показатели, характеризующие уровень эффективности обслуживания пассажиров [4-6].

Коллектив авторов в своей работе [7] указывают на то, что эффективность функционирования ГПТ носит ярко выраженный социальный характер, на которую оказывают влияние технико-экономические, технико-эксплуатационные, организационно-технические, производственно-бытовые и санитарно-гигиенические факторы, а также качество обслуживания пассажиров.

Аналогичное мнение имеют и другие авторы. Так, Н.Н. Громов, А.Д. Чудновский в [8] указывают, что при оценке эффективности работы транспорта необходимо рассматривать как экономические, так и социальные аспекты. Отсюда следует, что понятие эффективности пассажирского транспорта не может ограничиваться рамками узко экономическими, а должно учитывать и социальные факторы.

Представленная в [7] методика комплексной оценки эффективности функционирования пассажирского общественного транспорта является попыткой количественной оценки эффективности функционирования пассажирской транспортной системы. Следует отметить, что основным недостатком данной методики является сложность определения нормативной потребности населения в передвижении, поскольку количество факторов влияющих на величину данного показателя для разных слоев населения даже конкретного города существенно различаются.

Некоторые авторы [9-11] предлагают использовать при маршрутизации не один критерий, а несколько, проводя последовательную оптимизацию каждого из них. Но следует отметить, что предложенный подход не всегда гарантирует получение действительно оптимального решения. Основным недостатком данного подхода является наличие противоречивых требований при формировании трасс маршрутов, которые заключаются в том, что трасса маршрута определяется сначала исходя из требования обеспечения минимума времени поездки пассажиров, а затем с требованием минимума неравномерности пассажиропотоков, что должно обеспечивать максимальную эффективность использования подвижного состава на маршрутах.

В работе [12] эффективность маршрутной системы оценивается уровнем затрат на эксплуатацию транспорта, при ограничениях на его производительность. Следует отметить, что данный подход, может

©Акбар Джан Полад. 2015

быть использован для определения направлений развития транспортной сети города на этапе ее проектирования, но учета показателей уровня обслуживания пассажиров в виде ограничений вряд ли будет достаточно при оценке эффективности существующей или усовершенствованной маршрутной системы.

Несколько иной подход к решению задачи повышения эффективности работы ГПТ рассматривается специалистами сферы экономики. В работе [13] выделены две группы критериев системы общественного транспорта: критерии социальных характеристик и финансово-экономический критерии. Обе эти группы насчитывают достаточно большое количество показателей, которые используются для оценки эффективности рассматриваемого процесса, начиная от улучшения условий окружающей среды и заканчивая показателями, направленными на конечного потребителя - населения. Однако, для научной и практической реализации представленные в работе утверждения должны быть обоснованы и формализованы, чего в работе не сделано.

В работе [14] проведен обширный анализ показателей эффективности транспортного обслуживания пассажиров. Основным результатом этого анализа является утверждение о большом разнообразии показателей, которые используются в качестве критериев и отсутствие надежности в перечне данных показателей. Наряду с достаточно хорошо формализованными критериями (наполнение салона автобуса и безопасность движения), автором дополнительно учитывается новый показатель - надежность выполнения услуг ГПТ. Основным недостатком, опять же, является проблема недостаточной обоснованности и объективности использованного критерия, так как он отражает субъективное мнение автора на процессы функционирования ГПТ.

Следует понимать, что эффективность транспортной системы формируется на двух уровнях с участием трех субъектов: транспортной системы, потребителей ее услуг и государственных органов. Учитывая такой подход, в основу обеспечения эффективности закладывается максимально возможное нивелирование противоречий между субъектом транспортной системы и двумя другими субъектами.

На первом уровне эффективность транспортной системы будет определяться отношением экономического эффекта ее работы к затратам, которые необходимы для достижения этого эффекта. Т.е. это ее внутренняя эффективность, которая определяется так же, как и для любого предприятия.

На втором уровне эффективность транспортной системы определяется тремя основными позициями: удовлетворение потребностей государства в развитии экономики и социальной сферы; удовлетворение потребностей населения для обеспечения мобильности, ведения бизнеса и других аспектов качества жизни; последствия функционирования транспортной системы, которые выражаются внешними издержками, с точки зрения экономических, социальных и экологических задач государства.

Необходимо отметить, что в сфере пассажирских перевозок социальные факторы вынуждают государственные органы прибегать к директивному регули-

рованию тарифов и соответственно компенсировать затраты для обеспечения необходимого уровня внутренней эффективности предприятий (рентабельности). В этом случае государственные органы должны брать на себя и обеспечение качественных показателей работы транспортной системы, так как рыночные механизмы регулирования в условиях директивного определения тарифов не действуют.

Постановка задачи. Анализ подходов к оценке эффективности функционирования систем пассажирского транспорта в городах показал, что до сих пор не существует научно обоснованного подхода к определению цели функционирования объекта исследования и ее последующей формализации в виде критерия эффективности объекта исследования.

Представленные в [15] требования к критерию превращают проблему формирования критерия эффективности из творческого процесса в техническую операцию, которая состоит из следующих этапов: выделение целевого сегмента, то есть формирование круга лиц, интересы которых представляются заказчиком; определение вида частных критериев эффективности для каждого из заказчиков; представление общего критерия эффективности.

Такой подход позволяет избавиться от неопределенности в формировании критерия эффективности пассажирской транспортной системы. Но, конечно, он не может гарантировать простоту составления математической модели системы, так как его составляющие могут иметь достаточно сложную связь с технологическими параметрами элементов системы. В наибольшей степени это касается показателей степени удовлетворения потребителей транспортными услугами [15].

Ход решения. Перед формированием критерия эффективности необходимо четко определить задачи исследования, или другими словами, «целевой сегмент», для которого оно проводится [15, 16].

Рассмотрим возможные варианты заказчиков (целевого сегмента) при решении задач повышения эффективности функционирования ГПТ и разработки основных вариантов критерия эффективности систем пассажирского транспорта в городах.

Основным потребителем транспортного обслуживания в городах выступает население, исполнителями являются транспортные организации, которых контролируют местные органы власти.

Итак, рассмотрим один из вариантов критерия эффективности для выбранного объекта исследования, когда целевым сегментом являются пассажиры. В этом случае результатом для каждого из них является удовлетворение потребностей в передвижениях (изменение мест нахождения) городскими маршрутами за рассматриваемый период, а затратами на его достижение - все виды ресурсов, которые пассажир тратит на осуществление передвижений, в том числе время и стоимость передвижений. Общий критерий эффективности для всего целевого сегмента "пассажиры" будет иметь вид [15]

$$E_n = \sum_{j=1}^{N_3} E_{nj} = \sum_{j=1}^{N_3} \sum_{k=1}^{N_{nj}} (U_{kj} - \sum_{i=1}^n a_i \cdot c_{ikj}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где E_n – критерий эффективности пассажирской транспортной системы города с позиции пассажиров; N_3 – количество заказчиков (пассажиров) в городе за рассматриваемый период.

Если коэффициенты значимости при затратах пассажиров имеют одинаковые значения для всего целевого сегмента, то выражение (1) целесообразно перегруппировать, объединяя результат передвижений для всех пассажиров и затраты пассажиров в соответствующие составляющие общего социального эффекта [15]

$$E_n = \sum_{j=1}^{N_3} \sum_{k=1}^{N_{ni}} U_{kj} - \sum_{j=1}^{N_3} \sum_{k=1}^{N_{ni}} \sum_{l=1}^n a_i \cdot c_{ikj} \rightarrow \max \quad (2)$$

Положительная и отрицательная составляющие выражения эффективности представляют собой суммарные результаты и затраты пассажиров на передвижение за рассматриваемый период. Конечный вид критерия эффективности сегмента пассажиры приобретает вид (3) [15]:

$$E_n = U_n - C_n \rightarrow \max, \quad (3)$$

где U_n – суммарная полезность транспортных услуг по перевозке пассажиров, которая характеризует степень удовлетворения потребностей пассажиров в перевозках; C_n – суммарные взвешенные затраты всех видов ресурсов пассажиров на передвижения ГПТ за рассматриваемый период.

Необходимо отметить, что имея набор критериев эффективности для различных вариантов заказчиков (целевых сегментов) существует возможность комплексной оценки функционирования существующей маршрутной сети ГПТ.

Учитывая специфику транспортного обслуживания населения г. Кабул следует отметить тот факт, что при формировании критерия эффективности функционирования маршрутной системы ГПТ за основу следует взять целевой сегмент «пассажиры». Поскольку, несмотря на достаточно слабую организацию транспортного обслуживания и полное отсутствие контроля качества функционирования системы ГПТ со стороны органов местной власти, все же, на первый план для органов власти выходит удовлетворение потребностей населения в перевозках, а потом уже учитываются интересы транспортных организаций.

Итак, за основу критерия эффективности в данном исследовании принимается зависимость (3), рассмотрим более детально ее составляющие. Составляющими критерия (3) являются показатели, имеющие различный физический смысл, но это не случайно, а закономерно, поскольку этот критерий отражает реальные интересы элементов целевого сегмента.

Практически неизученной составляющей критерия является полезность транспортных услуг по перевозке пассажиров, которая характеризует степень удовлетворения потребностей пассажиров в перевозках. Недостатком использования этого показателя в качестве критерия является то, что он в неполной ме-

ре обоснован и не может точно показать степень удовлетворения потребностей пассажиров в перевозках, поскольку полезность для каждого пассажира может характеризоваться различными показателями. Однако, учитывая существующее состояние транспортного обслуживания населения г. Кабул можно предположить, что большая часть передвижений в городе являются трудовыми, т.е. полезность транспортных услуг по перевозке пассажиров можно принять как константу.

Отсюда следует, что эффективность функционирования целевого сегмента «пассажиры» заключается в минимизации затрат на передвижение пассажиров как одного из основных показателей эффективности транспортного обслуживания пассажиров, который для выбранного объекта исследования можно представить следующим образом:

$$C_n = f(t_{nep}, N_{nep}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

где t_{nep} – время на перемещение пассажиров; N_{nep} – количество пересадок пассажиров при осуществлении перемещения.

Выводы. С целью определения конечного вида критерия необходимо оценить влияние вышеперечисленных показателей на эффективность транспортного обслуживания населения ГПТ в г. Кабул. Для этого необходимо провести обследования пассажиропотоков на существующей маршрутной сети, на основе полученных результатов провести моделирование спроса для города и после этого определить влияние каждого из представленных в целевой функции показателей на конечный вид критерия эффективности.

Список литературы: 1. Горбачев, П. Ф. Условия функционирования системы городского пассажирского транспорта г. Кабул [Текст] / П. Ф. Горбачев, Е. В. Любый, Акбар Полад // Вестник экономики транспорта и промышленности, №46. – Х. : УкрГАЗТ, 2014. – С. 335 – 337. 2. Шабарова, Э. В. Система пассажирского транспорта города и агломерации: системный анализ и проектирование [Текст] / Э. В. Шабарова. – Рига: Знатье, 1981. – 279 с. 3. Затонский, А. В. Эффективность и критерии оптимальности движения общественного транспорта [Текст] / А. В. Затонский, А. М. Антонова // "Математические методы в технике и технологиях" ММТТ-19. Сб. трудов. Том 7. Секция 7. – Воронеж. ГТА, 2006. – С. 143–145. 4. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок [Текст] / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев и др. – М. : Высшая школа, 1980. – 535 с. 5. Основы теории транспортных систем [Текст] : Учеб. пособие / А. Э. Горев; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 214 с. 6. Гудков, В. А. Пассажирские автомобильные перевозки [Текст] : Учебник для вузов / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев; под ред. В. А. Гудкова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 448 с. 7. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта [Текст] : Монография / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, А. В. Куликов, А. А. Сериков. – Волгоград: ВолгГТУ, 2002. – 256 с. 8. Громов, Н. Н. Единая транспортная система [Текст] : Учебник для вузов / Н. Н. Громов, Т. А. Панченко, А. Д. Чудновский. – М. : Транспорт, 1987. – 303 с. 9. Брейдо, Т. Е. Математическое моделирование транспортных сетей и оптимизация параметров их функционирования : автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук [Текст] / Т. Е. Брейдо. – Горький, 1978. – 24 с. 10. Тузовский, А. Ф. Вопросы оптимизации оперативного управления движения пассажирского транспорта на маршрутах : дис. ... канд. техн. наук [Текст] / А. Ф. Тузовский. – Томск, 1980. – 182 с. 11. Васильев В. М. Исследование некоторых закономерностей формирования пассажиропотоков на городской маршрутной сети транспорта общего пользования : дис. ... канд. экон. наук [Текст] / В. М. Васильев. – Саратов, 1978. – 182 с. 12. Сафронов, Э. А. Оптимизация систем городского пассажирского

транспорта [Текст] / Э. А. Сафронов. – Омск : ОнПИ СибАДИ, 1985. – 86 с. **13.** Василенко, Е. А. Механизм коммерциализации предоставления социально значимых услуг населению : на примере общественного транспорта : дис. ... канд. экон. наук [Текст] / Е. А. Василенко. – Ростов на Дону : РГУ, 2004. – 204 с. **14.** Семчугова, Е. Ю. Оперативная оценка качества услуг в управлении городским пассажирским транспортом : дис. ... канд. экон. наук [Текст] / Е. Ю. Семчугова. – Хабаровск : ХГТУ, 2003. – 195 с. **15.** Горбачов, П. Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах : дис. ... доктора техн. наук [Текст] / П. Ф. Горбачов. – Х., 2009. – 370 с. **16.** Грановский, Б. И. Моделирование спроса на пассажирские перевозки [Текст] / Б. И. Грановский. – М. : Наука, 1984. – 58 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Gorbachev, P., Lyubiy, E., Polad, A. (2014). Usloviya funktsionirovaniya sistemiy gorodskogo passazhirskogo transporta g. Kabul. Vestnik ekonomiki transporta i promyshlennosti, 46, 335–337. **2.** Shabarova, E. (1981). Sistema passazhirskogo transporta goroda i aglomeratsii: sistemnyy analiz i proektirovanie, 279. **3.** Zatonskiy, A., Antonova, A. (2006). Effektivnost i kriterii optimalnosti dvizheniya obschestvennogo transporta. XIX Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya. "Matematicheskie metody v tehnikе i tehnologiyah" MMTT-19. Sb. trudov, T. 7, 143–145. **4.** Efremov, I.,

Kobozev, V., Yudin, V. (1980). Teoriya gorodskih passazhirskih perevozk, 535. **5.** Gorev, A. (2010). Osnovy teorii transportnykh sistem. Saint Peterburg, 214. **6.** Gudkov, V., Mirotin, L., Velmozhin, A., Shiryayev, S. (2006). Passazhirskie avtomobilnye perevozki, 448. **7.** Velmozhin, A., Gudkov, V., Kulikov, A., Serikov, A. (2002). Effektivnost gorodskogo passazhirskogo obschestvennogo transporta, 256. **8.** Gromov, N., Panchenko, T., Chudnovskiy, A. (1987). Edinaya transportnaya sistema, 303. **9.** Breydo, T. (1978). Matematicheskoe modelirovanie transportnykh setey i optimizatsiya parametrov ih funktsionirovaniya, 24. **10.** Tuzovskiy, A. (1980). Voprosy optimizatsii operativnogo upravleniya dvizheniya passazhirskogo transporta na marshrutah, 182. **11.** Vasilev, V. (1978). Issledovanie nekotorykh zakonomernostey formirovaniya passazhiroptokov na gorodskoy marshrutnoy seti transporta obshchego polzovaniya, 182. **12.** Safronov, E. (1985). Optimizatsiya sistem gorodskogo passazhirskogo transporta, 86. **13.** Vasilenko, E. (2004) Mechanizm kommersializatsii predostavleniya sotsialno znachimykh uslug naseleniyu : na primere obschestvennogo transporta, 204. **14.** Semchugova, E. (2003). Operativnaya otsenka kachestva uslug v upravlenii gorodskim passazhirskim transportom, 195. **15.** Gorbachov, P. (2009). Kontseptsiya formuvannya sistem marshrutnogo pasazhirskogo transportu v mistah, 370. **16.** Granovskiy, B. (1984). Modelirovanie sprosa na passazhirskie perevozki, 58.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Акбар Джан Полад – аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет; вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002; тел.: 050-166-18-08; e-mail: zmarpolad@yahoo.com.

Акбар Джан Полад – аспірант, Харьковский национальный автомобильно -дорожный университет; ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002 ; тел.: 050-166-18-08; e-mail: zmarpolad@yahoo.com.

Akbar Jan Polad – postgraduate, Kharkiv National Automobile and Highway University, 61002, Ukraine, Kharkov, Petrovskogo str., 25; tel.: 050-166-18-08; e-mail: zmarpolad@yahoo.com.

УДК 006.91

К. С. ТЫМАНЮК, В. Л. КОСТЕНКО, Е. Д. ПОПЕРЕКА

МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРАЦИИ, НАПРЯЖЕНИЯ БОРТОВОЙ СЕТИ И СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

В статье представлены результаты исследований по созданию методики экспресс-диагностики технического состояния двигателя транспортного средства с использованием информационно-измерительной системы «Дельфин 1-М». Разработан алгоритм контроля двигателя с целью исследования основных информационных параметров. Проведены экспериментальные исследования двигателя. Приведены результаты обработки экспериментальных данных с использованием пакета MATLAB.

Ключевые слова: экспресс-диагностика, методика, двигатель, транспортное средство, информационно-измерительная система

Введение. Диагностические операции используются достаточно широко для оценки технического состояния и поиске многих дефектов автомобильных транспортных средств, однако не существует единой методики оценивания эффективности выбранных операций контроля.

В работе на основании анализа литературных источников по аналогичным исследованиям установлено что, несмотря на широкое применение диагностирования, не создано достаточно универсального метода оценки технического состояния.

Был проведен анализ диагностических методик и аргументирован выбор необходимых параметров для оценки технического состояния автомобильного транспортного средства. Установлена целесообразность использования сочетания методов контроля.

Исключительная разнообразность и сложность автомобильных транспортных средств как объектов исследования не позволяет на данный момент преобразовать их диагностику в строго формализованную систему, где любые проблемы могут быть разрешены

при помощи исчерпывающего набора готовых алгоритмов.

Такие агрегаты автомобильного средства как двигатель состоят из нескольких систем неисправности, в которых приводят к взаимному влиянию на функционирование друг друга, это вызывает сложность при выборе контролируемых параметров, что необходимо учитывать при выборе алгоритмов и методик контроля.

Аналитический обзор методов и постановка проблемы экспресс-диагностики транспортных средств. Одной из основных методологических проблем контроля технического состояния является подбор как единичных контролируемых параметров так и их комбинаций. Изучение отдельных параметров контроля отделенных от совокупности процедур диагностики ставит ряд вопросов. Отсутствие единой метрологической теории выбора параметров контроля технического состояния, которая объединяла все воз-

К. С. Тыманюк, В. Л. Костенко, Е. Д. Поперека

возможные параметры контроля, не позволяет выполнять оценивание при помощи наиболее весомых параметров состояния объекта контроля [1]. Все это в свою очередь, ограничивает развитие методологии контроля технического состояния и распространение использования метода в повседневной практике эксплуатационных и ремонтных предприятий.

В последнее время значительный интерес уделяется изучению информационной составляющей структуры диагностических сигналов как отображению внутренних процессов изменения состояния объекта контроля. Накоплено большое количество экспериментальных данных по диагностической значимости параметров процессов систем касательно технического состояния двигателя автомобильного транспортного средства. Но исследования в этой области требуют постоянного развития в связи с совершенствованием и применением новых технических решений в производстве двигателей для автомобильных транспортных средств [2].

При использовании ряда диагностического оборудования, в т.ч. диагностических комплексов и измерительных систем пользователь сталкивается с анализом значительного числа параметров, что приводит к весоному снижению оперативности принятия решений о состоянии контролируемого объекта. Поэтому при создании подобных систем актуальной становится задача ограничения контролируемых параметров за счет определения наиболее весомых, которые в последствии подвергаются анализу. В процессе решения данной задачи так же возникают вопросы сравнения параметров разного происхождения [3].

Ускоренная оценка технического состояния объекта диагностирования может быть не связана с техническим обслуживанием и ремонтом, т.е. быть специализированной процедурой. В данный момент не существует специальных средств обеспечения контроля состояния, поэтому на данном этапе используется технологическая диагностика, обеспеченная соответствующими средствами [4].

Для оценки технического состояния таких агрегатов автомобильного средства как двигателя внутреннего сгорания (ДВС) чаще всего используют методы оценки его основных составных частей. Для двигателя это цилиндропоршневая группа (ЦПГ) и газораспределительный механизм (ГРМ). При диагностировании двигателя должны проверяться прямые или соответствующие им косвенные параметры [5]. Однако оценить данные параметры методом непосредственных измерений без разборки двигателя не представляется возможным.

По результатам контроля параметров принимают решение о годности двигателя и возможности дальнейшей эксплуатации автомобильного средства или о необходимости проведения ремонта.

Для каждого агрегата автомобильного транспортного средства существует своя группа диагностических параметров обеспеченных методами, среди них как правило можно выделить методы подходящие для контроля технического состояния исследуемого объекта. Рассмотрим методы диагностики ДВС [6] независимые от бортовой диагностики OBD (On-Board Diagnostic), которая на данный момент не

предусматривает контроля технического состояния механической части двигателя.

Метод диагностики ДВС по параметрам вибрации в настоящее время находится в состоянии развития и пока не используется массово в диагностике ДВС, однако обладает большим потенциалом, так как позволит в перспективе определять с высокой точностью неисправность в случаях, где иные методы малоэффективны. К его недостаткам можно отнести высокие требования к квалификации оператора и необходимость тщательного закрепления датчиков вибрации [7].

Метод оптического контроля - эндоскопия двигателя проводится для оценки величины износа и определения поломок в ЦПГ. Позволяет выявлять прогар и повреждение клапанов, днищ поршней, головки блока и прокладку головки блока со стороны камеры сгорания. По следам масла на стержнях и тарелках клапанов, своде камеры сгорания, краях днища поршня можно определить износ маслоотражательных колпачков, поршневых колец [8]. Не требует специфической подготовки оператора, но вместе с тем требует компетентности в оценке и классификации обнаруженных дефектов, несложен в освоении. Недостатком метода является субъективность, так как оценку технического состояния выполняет непосредственно оператор.

При условии соответствия нормальному состоянию газораспределительного механизма о степени соответствия нормальному состоянию ЦПГ можно судить по параметрам герметичности цилиндров, одним из которых является утечка сжимаемого воздуха из надпоршневого пространства. При этом, параметр герметичности цилиндров обладает высоким коэффициентом информативности (0,936) и может быть оценен косвенными методами, а именно по характеру изменения легкодоступных для измерения величин: тока стартера, напряжения аккумуляторной батареи, частоты вращения коленчатого вала, температуры масла [9]. Далее приведены методы базирующиеся на параметре герметичности цилиндров.

Метод утечек, при котором производятся измерения при помощи пневмотестера, оценивает герметичность надпоршневого пространства, она определяется по падению давления сжатого воздуха, подаваемого в цилиндр через свечное отверстие (на бензиновом двигателе) или отверстие для форсунки (на дизельном двигателе). Недостатком метода является невысокая информативность теста для выявления не только проблемных цилиндров, но и первопричины недостаточного давления.

Метод диагностики ДВС основанный на изменении угловой скорости коленчатого вала позволяет найти цилиндр с пониженной компрессией, но требует большой компетентности и опыта в анализе получаемой информации с целью определения неисправностей двигателя.

Метод оценки относительной компрессии по току стартера позволяет определить дефектный цилиндр, основываясь на данных пульсации тока потребляемого стартером при прокрутке двигателя. Нашел широкое применение, используется в диагностических мотор-тестерах (Bosch FSA740, Дельфин-

1М и др.). Этот метод позволяет, провести оценку технического состояния двигателя ни прибегая к частичной разборке двигателя и определить дефектный цилиндр основываясь на разнице относительной компрессии. Недостатком метода является невозможность количественно оценить степень износа ЦПГ [10].

Описанные методы, кроме методов контроля по параметрам вибрации и оптического базируются на параметре герметичности цилиндров и обладают общим недостатком - несоответствие состояния ГРМ годовому ведет к снижению информативности контролируемого параметра по отношению к ЦПГ, таким образом достоверность данных методов зависима от состояния ГРМ. Для исправления данного недостатка может служить сочетание параметров базирующихся на герметичности цилиндров с параметром оптического контроля надпоршневого пространства ДВС, при котором возможно визуально оценить состояние элементов ГРМ.

Цели и задачи исследования. Целью данной работы является исследование и разработка методики диагностики транспортного средства, позволяющей в экспрессном режиме с высокой степенью достоверности определять состояние основных эксплуатационных параметров двигателя.

Методика и установка для экспресс-диагностики. На основании проведенного анализа известных методик диагностики транспортных средств и с учетом опыта использования разработанной информационно-измерительной системы [11] нами предложена методика экспресс-диагностики.

Диагностируемое транспортное средство после процедуры внешнего осмотра поступает на пост диагностики выполняется подключение датчиков напряжения бортовой сети, контактного или бесконтактного датчика системы зажигания. Установка датчиков вибрации осуществляется на характерные точки двигателя требование к месту установки согласно рис. 1.

Места установки датчиков. Датчик следует закреплять так, чтобы его измерительная ось совпадала с нужным при измерении направлением. Как правило, измерительная ось перпендикулярна плоскости крепления датчика (его рабочей поверхности). Цель измерения и анализа вибрации обычно диктует расположение мест крепления пьезодатчика на исследуемом объекте.

Поскольку реакции механических систем на возбуждение механическими колебаниями определяются сложными физическими процессами, то при измерении даже на одном элементе агрегата в близких друг к другу точках ввода может наблюдаться различный характер исследуемых колебаний. Вышесказанное особенно актуально для высокочастотной составляющей вибросигнала, что часто определяется различными типами распространения высокочастотных колебаний по поверхности.

Важно производить замеры вибрации в одних и тех же местах, называемых контрольными (штатными) точками измерения вибрации. Пользуясь рекомендациями описанными в стандартах.

Обычно, измерения параметров вибрации в контрольных точках производятся на корпусе АДВС и клапанных крышках.

Абсолютную вибрацию (при диагностировании большинства механических дефектов) рекомендуется измерять в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтально – поперечном и осевом. Преобразователи для измерения горизонтально – поперечной составляющей вибрации крепят на уровне оси вала против середины длины опорного вкладыша. Осевую составляющую вибрации следует измерять в точке, максимально приближенной к оси вала на Блоке цилиндров в точке опоры коренного подшипника вблизи горизонтального разреза между крышкой и корпусом.

Допускается измерение вертикальной, горизонтальной и осевой составляющих вибрации путем установки на верхнюю часть блока цилиндров трехкомпонентного вибродатчика для измерений вибрации во взаимно перпендикулярных направлениях совпадающих с главными осями агрегата.

В соответствии с рекомендациями ISO 1101-1969 поверхность для крепления датчика должна удовлетворять следующим условиям:

- шероховатость поверхности – не более 1,6 мкм;
- неперпендикулярность оси резьбового соединения к плоскости крепления преобразователя - не более 0,02 %;
- неплоскостность поверхности крепления – 0,01 %.

В силу экономических соображений при изучении виброконтролепригодности каждого конкретного АДВС и подготовке контрольных точек всегда возникает вопрос о пространственном направлении измерений, оптимальном с точки зрения распознавания состояния определенного узла агрегата.

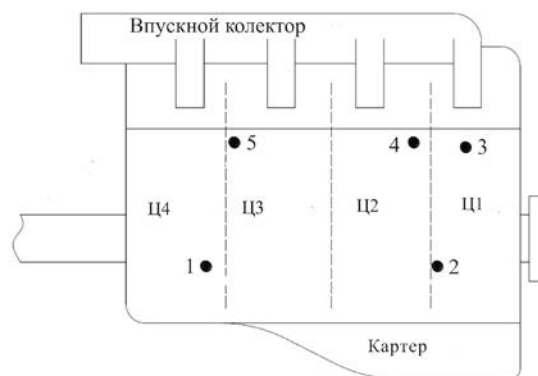


Рис. 1 – Типичные контрольные точки измерений вибрации на корпусе АДВС

Для контроля выбранных параметров использовались диагностический комплекс Дельфин-1м производства ЗАО «Циклон» возможности которого позволяют проводить измерения вибрации ДВС а так же сохранять протоколы диагностики в БД для последующего анализа. На рис. 2 представлен измерительный блок комплекса Дельфин-1М и датчики вибрации при помощи которых были получены синхронные диагностические сигналы.

Для выделения диагностических признаков нами использованы методы анализа виброакустических сигналов такие как фазо-циклового анализ, Быстрое

преобразование Фурье и анализ спектра низкочастотных сигналов. Тесты экспресс-диагностики вибрации проводились на двигателе автомобиля Mazda 626 проводились на испытательном стенде. Максимальная мощность составляет 95.6кВт при 5600мин⁻¹ и максимальный крутящий момент 185Нм при 4400 мин⁻¹.

Для проведения измерений использован универсальный агрегатизированный комплекс мотор-тестер "Дельфин-1М", комплект поставки которого включает, виброакустические датчики, датчики давления, датчики работы системы зажигания, напряжения бортовой сети и т.д. использование их показано в табл. 1.

Таблица 1 – Назначение датчиков мотор-тестера "Дельфин-1М"

№ п/п	Наименование	Назначение	Количество
1	ABC-117; No21; No40	Ультразвук	2
2	ABC-117-04; ABC-135-05 No43, No45	ВЧ-вибрация	2
3	ANC-114-02 (06) No14, No5	НЧ-вибрация	2
4	МД-250	Давление	1
5	Адаптер 12В	Напряжение бортовой сети	1
6	Адаптер системы зажигания 700В "Минус КЗ"	Импульсы катушки зажигания	1
7	Адаптер системы зажигания бесконтактный "Минус КЗ"	Импульсы катушки зажигания	1
8	Емкостной адаптер привязки к первому цилиндру	Импульсы работы первого цилиндра	1
9	Адаптер 12В	Импульсы штатного датчика положения КВ	1

Частота дискретизации системы записи фиксирована и составляет 70000 Гц.

Для синхронизации получаемой информации были использован емкостной адаптер привязки к первому цилиндру он генерирует сигнал один раз за оборот двигателя соответствует ВМТ цилиндра 1.

Для исследований был использован сигнал штатного датчика положения КВ, когда каждый зубец маховика проходит над Преобразователем, он генерирует импульсный сигнал. Таким образом 360° между двумя тахо-сигналами; исходя из этого сигналы вибрации могут быть связаны с углом поворота коленчатого вала в градусах, по измеренным сигналам тахометра. Поскольку маховик содержит 120 зубцов, зонд регистрирует 120 импульсов на каждый оборот. Крутильные колебания коленчатого вала получены от фазовой демодуляции измеренных сигналов зубчатого венца.

Пять вибрационных датчиков типа ABC-117 использовались для записи колебаний на поверхности блока цилиндров. Компоновка акселерометров согласно разделу 2. Ускорения двух датчиков ANC-114 использованы для расчета "крена" двигателя для диагностики пропусков зажигания. Давление цилиндра измеряется датчиком МД-250 через переходной элемент с вкрученной свечей зажигания.

Автомобиль был установлен на тягодинамический стенд с гидравлическим динамометром, который работает в качестве внешней нагрузки. Управляя динамометр, были выбраны три постоянные условия вращения КВ: 1500 мин⁻¹, 2000 мин⁻¹ и 3000 мин⁻¹. Поскольку двигатель изношен из соображения безопасности в экспериментах используется около

половины от максимальной частоты вращения КВ двигателя.

Было также обнаружено, та же что стабильность работы двигателя имела кажущееся улучшение на скоростях выше была 1500 мин⁻¹ (скорость холостого хода двигателя составляет около 750 мин⁻¹), особенно при наблюдении крутильных колебаний. При выборе нагрузки также рассмотрен вопрос безопасности и стабильной работы двигателя. Для каждой частоты КВ, были использованы три разные условия нагрузки: 50 Нм, 80 Нм, 110 Нм.

Удаление высоковольтного провода зажигания от свечи зажигания является наиболее прямым способом имитации 100 % осечки. Управляя ECU, 50 % пропуск зажигания был смоделирован на двигателе. Эксперименты с механическими неисправностями на двигателе включают в себя четыре этапа, показанные в табл. 2.

Поршень цилиндра 1 был расточен, чтобы получить больше поршневые зазоры. Зазор вкладыша коренного подшипника КВ был изменен при помощи механической обработки и прокладок.

Для произведенных доработок двигатель был разобран, зазоры измерены при помощи комплекта измерительных щупов. Нормальный зазор для поршня 0,05 мм, для коренного подшипника 0,04 мм.

Анализируются 15 результатов в нормальном состоянии и 21 результат при условии пропусков зажигания (в том числе 2 случая 50 % пропуска). Так же рассмотрены 30 случаев сигнала для каждой из поршневых неисправностей и коренного подшипника, соответственно, каждая стадия имеют равное число случаев (10). Распределение измерений для нормального состояния, пропусков зажигания и механических неисправностей приведены в табл. 3

Таблица 2 – Четыре этапа измерений с механическими неисправностями

№ теста	Тест	Описание дефекта
1	Умеренный стук поршня	Превышение в 3 раза нормального зазора между стенкой цилиндра и поршнем (Первый цилиндр)
2	Сильный стук поршня	Превышение в 6 раза нормального зазора между стенкой цилиндра и поршнем (Первый цилиндр)
3	Умеренный стук коренного подшипника	Превышающий в 2 раза зазор в коренном подшипнике Второго цилиндра
4	Сильный стук коренного подшипника	Превышающий в 4 раза зазор в коренном подшипнике Второго цилиндра

Таблица 3 – Распределение измерений нормальной работы, пропусков зажигания и механических неисправностей

Нормальная работа	Пропуск зажигания		Зазор в цилиндре		Зазор в коренном подшипнике	
15 всего	100% пропусков 19 всего	50% пропусков 2 всего	30 всего		30 всего	
	9 (цилиндр 1) 7 (цилиндр 2) 3 (цилиндр 3)	2 (цилиндр 1)	1 тест 15 всего (цилиндр 1)	2 тест 15 всего (цилиндр 1)	1 тест 15 всего (цилиндр 2)	2 тест 15 всего (цилиндр 2)

Некоторые необработанные сигналы в режиме 1500мин⁻¹/110 Нм показаны на рис. 2 ось X образцы отрезков времени, сигнал штатного датчика положения КВ увеличен на рис. 2. Из необработанного сигнала, видно, что давление в цилиндре на каждом цикле несколько изменяется поэтому необходимо синхронизировать усредненное значение сигнала давления для использования давления в имитационных моделях в следующей главе. Для каждого цикла, существуют два сигнала оборотов, сигналы, соответствующие НМТ в такте расширения горения и выпуска отработавших газов. Но только сигнал рабочего цикла полезен для диагностики неисправностей (особенно для выявления локализации неисправностей).

При обработке сигнала, сигналы давления в цилиндре 1 близки к сигналам датчика КВ в области рабочего хода, таким образом они были использова-

ны, чтобы удалить сигналы датчика КВ на такте расширения из измеренной информации. Из-за короткого переходного характера каждого импульса, можно видеть, что сигналы, ускорения являются почти периодические серии высокочастотных всплесков. Из измеренных необработанных сигналов датчика положения КВ, он также видно, что существует небольшое изменение периодического характера импульса между вершинами зубьев и датчика, это дает низкий дрейф частоты и амплитудной модуляции. Тем не менее, флуктуации амплитуды необработанного сигнала не имеет никакой пользы для фазовой демодуляции, прежде всего прохождения через нуль, указывают на фазовую модуляцию (после удаления низкочастотного дрейфа). Низкочастотный дрейф удаляется автоматически при полосовой фильтрации применяемой для фазовой демодуляции.

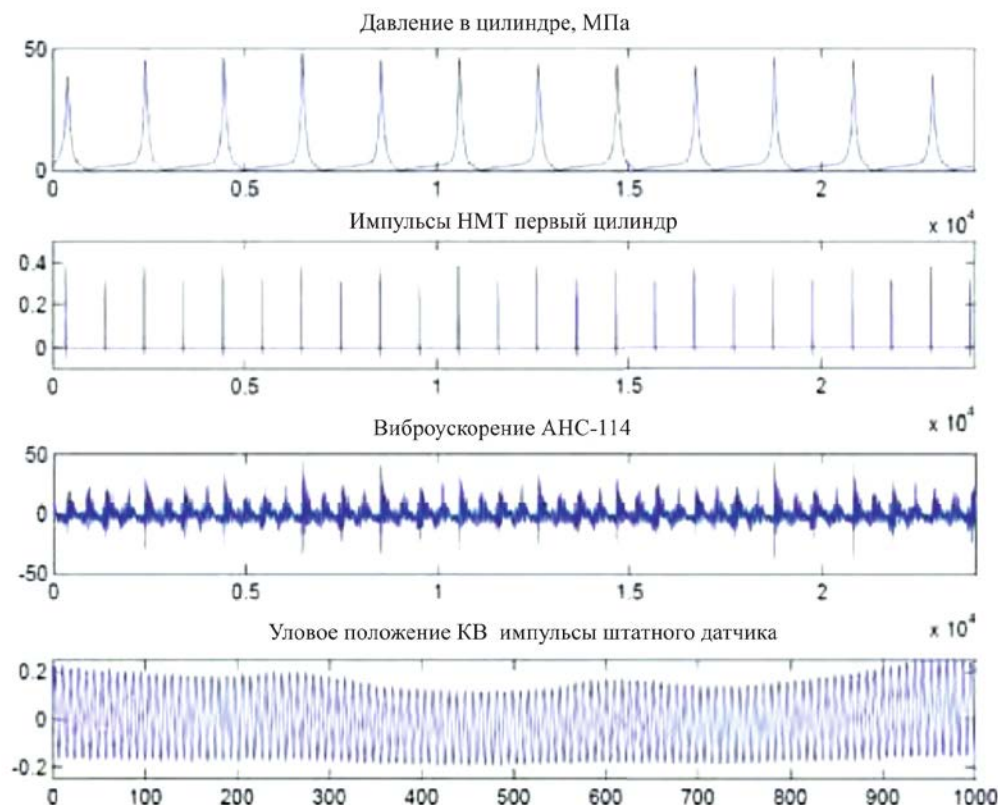


Рис. 2 – Пример исходных необработанных сигналов

Апробация разработанного метода экспресс-диагностики

На рис. 3 приведен кадр составляющий 720° поворота коленчатого вала для 4-х тактного бензинового двигателя, что составляет полный цикл работы двигателя, с указанными выше диагностическими парамет-

рами. В качестве образца для исследований был выбран двигатель Mazda626 1991 года выпуска с пробегом 20тыс. км, предварительно прошедшего опорные исследования технического состояния в измерительной лаборатории BOSCH ОНПУ. При экспресс-диагностике контролировались: параметры цикла ра-

боты двигателя с привязкой к повороту коленчатого вала для чего были использованы вибро-акустические параметры (фазо-цикловой анализ); работа системы зажигания; напряжение бортовой сети.

Фаза-цикловой анализ позволяет регистрировать события, происходящие в механизмах двигателя с привязкой к углу поворота коленчатого вала. Учет параметров работы бортовой сети и системы зажигания позволяет исключить влияние неисправностей в данных системах на оценку работы механизмов двигателя по параметрам вибрации. Использование пьезокерамических датчиков вибрации с различными частотными диапазонами позволяют определить механизм в котором происходит событие а так же учитывая частоты и интенсивность получаемого сигнала

классифицировать событие как дефект или как нормальный сигнал сгенерированный исправной работой механизмов ДВС.

Данные фаза-цикловой анализа представлены в табл. 4.

На рис. 4 представлены исходные низкочастотные сигналы для диапазона записи данных 8 секунд.

Осциллограмма низкочастотного сигнала выделенного из общего потока данных для одного полного цикла работы двигателя приведена на рис. 5.

Для обработки результатов исследований был выбран программный пакет MATLAB, обеспечивающий необходимые функции анализа полученных сигналов. Результаты приведены на рис. 6–10.

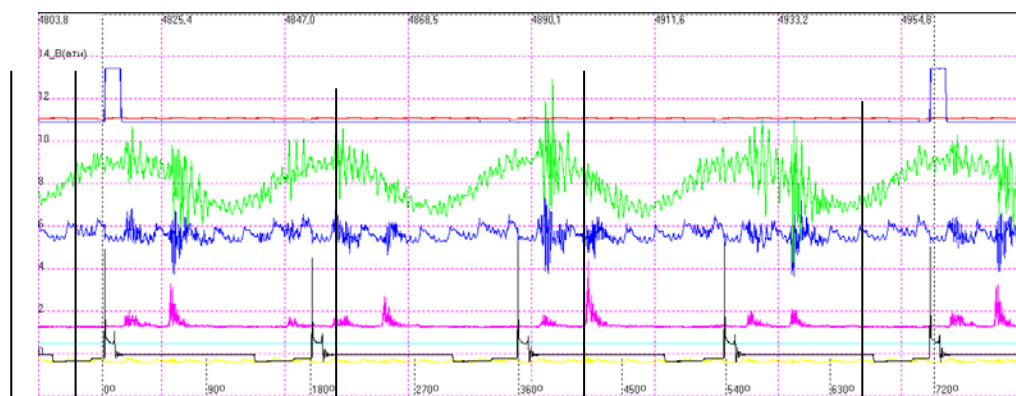


Рис. 3 – Осциллограмма синхронных сигналов двигателя

Таблица 4 – Результаты фаза-цикловой анализа

№ п/п участка осциллограммы	Угол поворота коленчатого вала	Зарегистрированное событие
1	15°	Закрытие впускного клапана 3го цилиндра, Стук поршня 1го цилиндра
2	55°	Стук поршня 1го цилиндра, закрытие впускного клапана
3	255°	Поршень третьего цилиндра, закрытие впускного клапана 4го цилиндра
4	370°	Стук поршня 4го цилиндра, стук шагуна 4го цилиндра
5	560°	Закрытие клапана 1го цилиндра, стук поршня 2го цилиндра

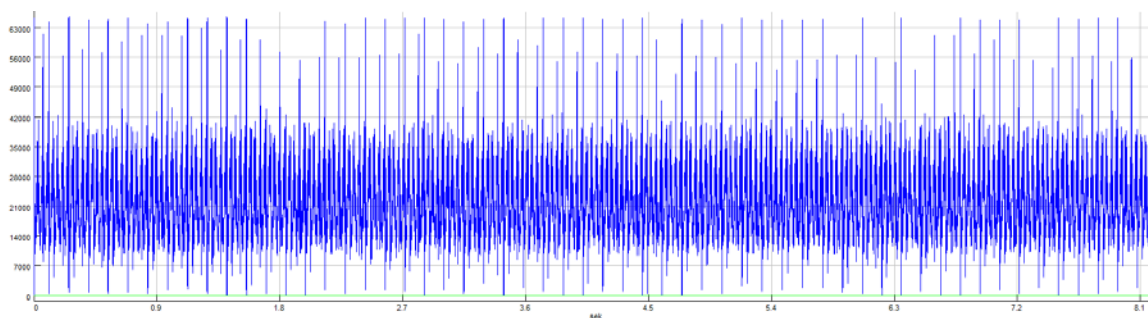


Рис. 4 – Низкочастотный сигнал из общего потока данных

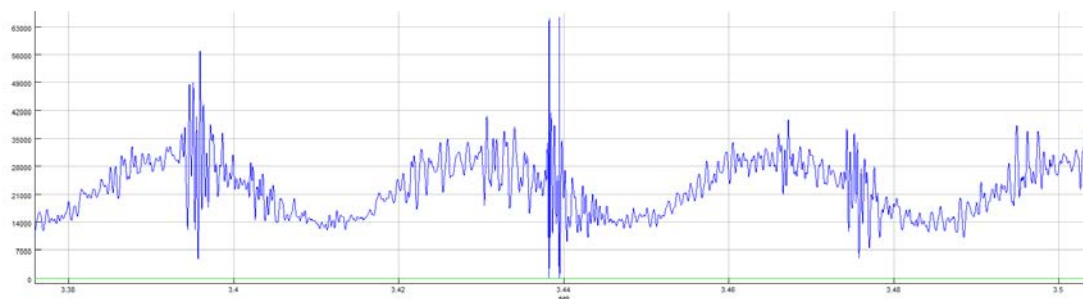


Рис. 5 – Исходный низкочастотный сигнал одного цикла работы двигателя 720°

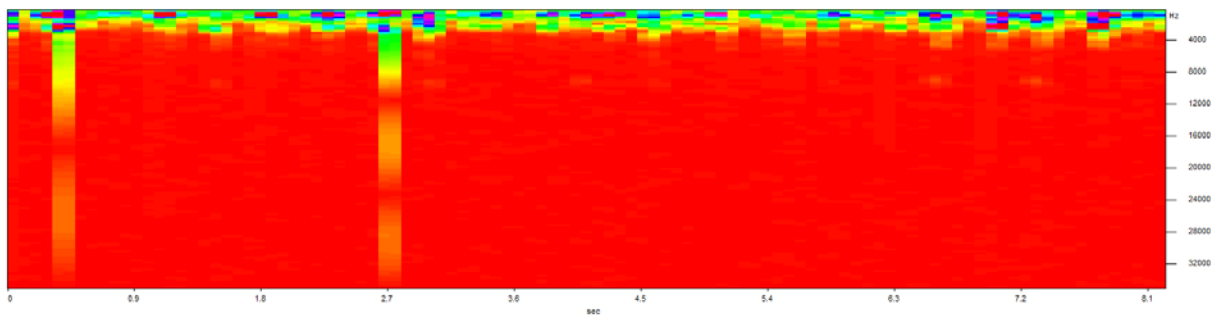


Рис. 6 – Быстрое преобразование Фурье для НЧ сигнала из общего потока данных

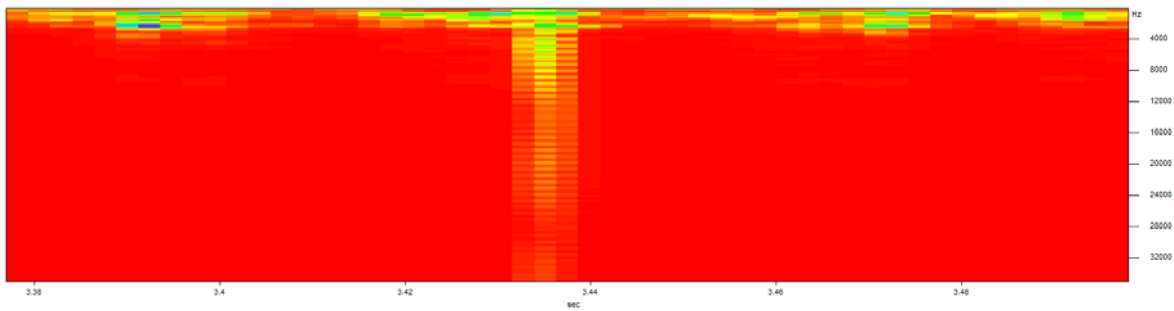


Рис. 7 – Быстрое преобразование Фурье для НЧ сигнала 1го цикла

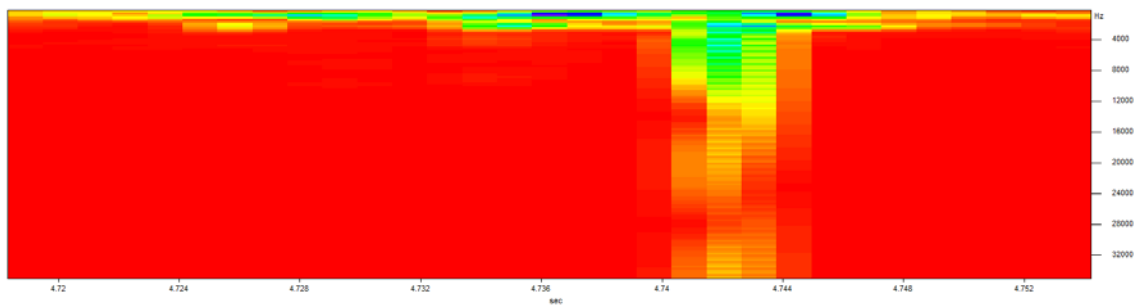


Рис. 8 – Быстрое преобразование Фурье для НЧ сигнала 3й цилиндр

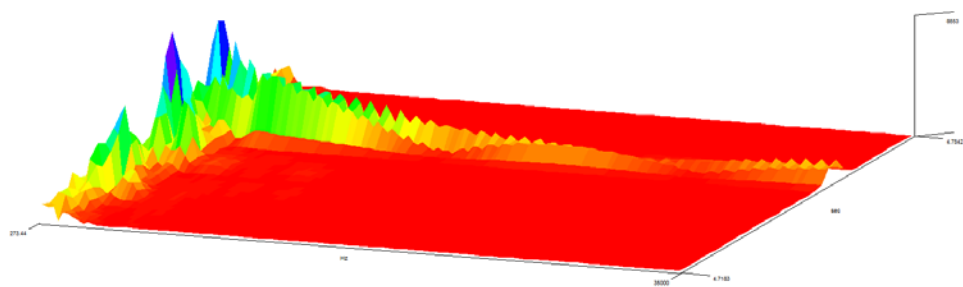


Рис. 9 – Быстрое преобразование Фурье для НЧ сигнала 3й цилиндр 3д вид

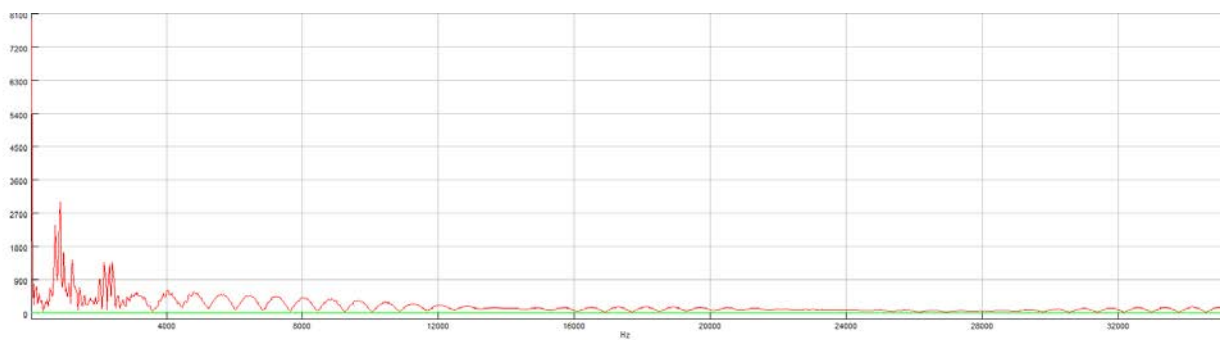


Рис. 10 – Спектрограмма НЧ сигнала

Полученные диаграммы и график позволили установить неисправное состояние поршня 3-го цилиндра, нарушение регулировок клапанов, бортовая система питания исправна, система зажигания исправна. Экспертная оценка приведенных параметров показала остаточный ресурс на уровне 70 %. Общее время диагностики составило 7,5 что не менее чем в 3 раза меньше времени стандартной процедуры диагностики. Результаты сравнивались с данными опорного исследования экспериментального образца двигателя, что на основании сравнения подтверждена достоверность предложенной методики.

Выводы. Результаты исследования позволяют сократить время проведения диагностики и обладают достаточной информативностью для возможности принятия решения оператором о состоянии двигателя автомобильного средства.

Методика позволяет предупреждать аварийные состояние работы ЦПГ и ГРМ так же позволяет определить дефекты цилиндров. Ускорение проведения контроля, за счет предложенного нами алгоритма и ограничения совокупности контролируемых параметров наиболее информативными, с учетом поставленных задач, составляет 46-80 %.

Выполнение оценки состояния с применением предложенного алгоритма позволяет контролировать нормальное изменение ресурсного состояния ДВС во время эксплуатации за счет применения базы данных (БД) а так же своевременно выявлять дефекты механизмов ЦПГ и ГРМ, таким образом избегать предельного состояния работы ДВС.

Список литературы: 1. Опанович, В. А. Технология диагностирования машин [Текст] / В. А. Опанович, Ю. Д. Карпиевич // Наука и техника: международный научно-технический журнал. – 2012. – No 2. – С. 45–52. 2. Wu, J. D. An expert system for fault diagnosis in internal combustion engines using probability neural network [Text] / Jian-Da Wu., Peng-Hsin Chiang., Yo-Wei Chang, Yao-jung Shiao // Expert Systems with Applications. – 2008. – No 34. – P. 2704–2713. 3. Korczewski, Z. Contemporary diagnostic methods for ship engines: a report on scientific research activity of Polish Naval Academy in this field [Text] / Z. Korczewski // Polish maritime research. – 2008. – Vol. 15. No 56. – P. 46–58. 4. Варнаков, Д. В. Методика выбора диагностических параметров при определении параметрической надежности двигателей автотранспортных средств [Текст]: Сборник научных трудов SWorld: мат. междунар. науч.-практ. конф. «Современные направления теоретических и прикладных исследований ‘2013». – Вып. 1. Том 9. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – С. 17–24. 5. Songpon, K. Condition monitoring of valve clearance fault on a small for strokes petrol engine using vibration signals [Text] / K. Songpon., P. Nivesrangsan // Journal of Science and Technology. – 2010. – No 32. – P. 619–625. 6. Mohammadpour, J. Survey on Diagnostics

Methods for Automotive Engines [Text] / J. Mohammadpour, M. Franchek, and K. A. Grigoriadis // American Control Conference on O'Farrell Street – 2011. – P. 985–990. 7. Dąbrowski, Z. Investigations of the Vibroacoustic Signals Sensitivity to Mechanical Defects Not Recognised by the OBD System in Diesel Engines [Text] / Z. Dąbrowski, M. Zawisza // Solid State Phenomena, Mechatronic Systems, Mechanic and Materials. – 2011. – P. 194–199. 8. Komorska, I. The Diagnostic Model Proposition Of The Engine Vibration Signal [Text] / I. Komorska // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2008. – Vol.15. – No 2 – P. 191–198. 9. Antoni, J. Effective vibration analysis of IC engines using cyclostationarity [Text] / J. Antoni, J. Danière, F. Guillet // Journal of Sound and Vibration Part I: A methodology for condition monitoring. – 2002. – No5. – P. 815–837. 10. Тьманиук, К. С. Исследование датчиков для экспресс-диагностики вибрации [Текст] / К. С. Тьманиук, В. Л. Костенко // Тр. 14-й междунар. научно-практ. конф. «Соврем. информ. и электрон. технологии СИЭТ-2013». – Одесса: ОНПУ, 2014 – С. 80–81. 11. Костенко, В. Л. Информационно-измерительная система контроля нормированных параметров производственных факторов [Текст] / В. Л. Костенко, А. А. Николенко, Е. Д. Поперека, М. В. Ядрова, К. С. Тьманиук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий: Информационно-управляющие системы. – 2014. – No 3/9(69). – С. 51–56. doi:10.15587/1729-4061.2014.25419

Bibliography (transliterated): 1. Opanovich, V. A., Karpievich, Yu. D. (2012). Tekhnologiya diagnostirovaniya mashin. Nauka i tekhnika: mezhdunarodnyi nauchno-tekhnicheskii zhurnal, 2, 45–52. 2. Jian-Da, Wu., Peng-Hsin, Chiang., Yo-Wei, Chang, Yao-jung, Shiao (2008). An expert system for fault diagnosis in internal combustion engines using probability neural network. Expert Systems with Applications, 34, 2704–2713. 3. Korczewski, Z. (2008). Contemporary diagnostic methods for ship engines: a report on scientific research activity of Polish Naval Academy in this field. Polish maritime research, Vol. 15, No 56, 46–58. 4. Varnakov, D. V. (2013). Metodika vybora diagnosticheskikh parametrov pri opredelenii parametricheskoj nadezhnosti dvigatelei avtotransportnykh sredstv. Sbornik nauchnykh trudov SWorld: mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sovremennye napravleniya teoreticheskikh i prikladnykh issledovaniy ‘2013», 1 (9), 17–24. 5. Songpon, K., Nivesrangsan, P. (2010). Condition monitoring of valve clearance fault on a small for strokes petrol engine using vibration signals. Journal of Science and Technology, 32, 619–625. 6. Mohammadpour, J., Franchek, M., Grigoriadis, K. A. (2011). Survey on Diagnostics Methods for Automotive Engines. American Control Conference on O'Farrell Street, 985–990. 7. Dąbrowski, Z., Zawisza, M. (2011). Investigations of the Vibroacoustic Signals Sensitivity to Mechanical Defects Not Recognised by the OBD System in Diesel Engines. Solid State Phenomena, Mechatronic Systems, Mechanic and Materials, 194–199. 8. Komorska, I. (2008). The Diagnostic Model Proposition Of The Engine Vibration Signal. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 15, No 2, 191–198. 9. Antoni, J., Danière, J., Guillet, F. (2002). Effective vibration analysis of IC engines using cyclostationarity. Journal of Sound and Vibration, 257, 5, 815–837. 10. Tymaniuk, K. S., Kostenko, V. L. (2013). Issledovanie datchikov dlya ekspress-diagnostiki vibratsii. Тр. 14-й междунар. научно-практ. конф. Sovrem. inform. i elektron. tekhnologii (SIET-2013), 80–81. 11. Kostenko, V. L., Nikolenko, A. A., Popereka, E. D., Yadrova, M. V., Tymanyuk, K. S. (2014). Informacionno-izmeritelnaya sistema kontrolya normirovannykh parametrov proizvodstvennykh faktorov. Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tekhnologij: Informacionno-upravlyayushhie sistemy, No 3/9(69), 51–56. doi:10.15587/1729-4061.2014.25419

Поступила (received) 23.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Тьманиук Константин Сергеевич – аспирант, Одеський національний політехнічний університет; Кафедра металорежущих станків, метрології та сертифікації, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Україна, 65044; тел.: 099-28-26-547; e-mail: kstymaniuk@gmail.com

Тьманиук Костянтин Сергійович – аспірант, Одеський національний політехнічний університет, Кафедра металорізальних верстатів, метрології та сертифікації, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044;

Konstantin Tymaniuk – postgraduate, Odessa National Polytechnic University, Department of Metal-cutting machines Metrology and Certification, Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044;

Костенко Виталий Леонидович – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, Кафедра металорежущих станків, метрології та сертифікації, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Україна, 65044; e-mail: kv1777@ukr.net

Костенко Віталій Леонідович – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, Кафедра металорізальних верстатів, метрології та сертифікації, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: kv1777@ukr.net.

Kostenko Vitaliy – professor, Odessa National Polytechnic University, Department of Metal-cutting machines Metrology and Certification, Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; tel.: 063-169-62-49; e-mail: kv1777@ukr.net.

Поперека Катерина Дмитрівна – аспірант, Одеський національний політехнічний університет, Кафедра металорежущих станків, метрології та сертифікації, пр. Шевченка, 1, г. Одеса, Україна, 65044;

Popereka Katerina Dmitriivna – аспірант, Одеський національний політехнічний університет, Кафедра металорізальних верстатів, метрології та сертифікації, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044;

Popereka Katerina – postgraduate, Odessa National Polytechnic University, Department of Metal-cutting machines Metrology and Certification, Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: popereka2013.prof@mail.ru.

УДК 004.021

А. Ю. САВЧЕНКОВА

ПРОГНОЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА КОНВЕРСИИ НА ОСНОВЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ

В статье рассмотрено оптимальное хранение прошлых данных. Рассмотрены алгоритмы для лучшей конверсии предложены в будущем более точные результаты вероятностей той или иной конкретной рекламы. Рассмотрены сочетания оценок CTR с помощью логистической регрессии. Приведены основные сведения про CTR оптимизацию. Дается описание иерархической модели данных. В иерархической модели автоматически поддерживается целостность ссылок между предками и потомками. Основное правило: никакой потомок не может существовать без своего родителя. Также рассматриваем расчёт вероятности с помощью логистической регрессии. С помощью метода бинарной логистической регрессии можно исследовать зависимость дихотомических переменных от независимых переменных, имеющих любой вид шкалы.

Ключевые слова: логистическая регрессия, RTB, CTR, деревья данных, коэффициент конверсии, CPC, рекламные сети, иерархии данных, DSP, CPA.

Введение. В современном мире, где существует интернет, рекламодатели пытаются продать свои продукты публикуя свою рекламу в виде графического объявления на различных веб-страницах, пользующихся популярностью среди потенциальных потребителей, например, на страницах новостных порталов. Основной целью рекламодателя является достижение наиболее подходящую аудиторию в данной тематике, которая будет взаимодействовать с отображаемыми объявлениями, это и называется контекстной рекламой. Контекстная реклама - Реализация этой цели является достаточно сложной, в следствии чего рекламодатели должны использовать такое технологическое решение, как DSP. Demand Side Platform (DSP, автоматизированная система покупки) – технологическая система организации аукциона для рекламодателей, которая торгуется с SSP (платформами для RTB-торгов со стороны площадок), управляет несколькими рекламными сетями ([Ad Networks](#)) и рекламными биржами ([Ad Exchanges](#)), обменивается прочими данными в интересах рекламодателя в цифровой экосистеме [RTB](#). Цель DSP — как можно дешевле купить показы аудитории, максимально соответствующей запросам рекламодателя. По сути, DSP позволяет рекламодателям покупать аудиторию, а не конкретные места для размещения рекламы. Когда пользователь кликает на ссылку, SSP-система запускает торги на DSP-площадке. На основании данных SSP, собственной информации с сайта рекламодателя и купленных сведений у DMP (Data Management Platforms — поставщика профилей пользователей и систем управления ими), DSP формирует ставки и проводит RTB-аукцион.

Рекламодатели ищут оптимальную цену на торгах для каждого объявления, чтобы улучшить эффек-

тивность их кампании. Оптимальная цена за баннер зависит от CPC (цена за клик) или CPA (цена за действие). Если CPC или CPA установлены правильно, то показатель кликабельности (CTR) будет высоким. Например, ваш рекламный блок показан 1 раз и на него кликнул один человек, значит его CTR — 100 %.

$$CTR = (\text{количество кликов} / \text{количество показов}) * 100$$

CTR напрямую связаны с намерением пользователя, взаимодействующего с объявлением в данном контексте и его трудно моделировать и предсказать, в чем и заключается самая главная сложность.

Иерархия хранения прошлых данных. В основе иерархической модели данных лежит один главный элемент (главный узел), с которого все и начинается, такой элемент называет корневым элементом, в теории графов это называется корнем дерева. Вообще, по сути, что сетевая база данных, что иерархическая база данных имеет древовидную структуру. Все элементы или узлы, которые находятся ниже корневого узла иерархической модели, являются потомками корня. Стоит сказать, что и иерархическая база данных, и сетевая база данных оптимизированы на чтение информации из БД, но не на запись информации в базу данных, эта особенность обусловлена самой моделью данных.

Узлы дерева, которые находятся на одном уровне, обычно называются братьями. Узлы, которые находятся ниже какого-то определенного уровня, являются дочерними узлами по отношению к нему. Иерархическую модель данных можно сравнить с файловой системой компьютера. Компьютер умеет очень быстро работать с отдельными файлами: удалять конкретный файл, редактировать файл, копировать или перемещать файл. Но

операция проверки компьютера антивирусом может происходить достаточно длительное время.

В контекстной рекламе рекламные компании, рекламодатели и непосредственно объявления можно рассматривать придерживаясь некоторой иерархической структуры. Структура представляет собой деревья. Каждое объявление в DSP относится к определенной рекламной кампании, которая, в свою очередь принадлежит рекламодателю. Например, рекламодатель: Acme Cars, кампания: 2011 Year End Sales, объявления: Incredible Year End Sales Event. Точно так же, сайт, на котором будет отображаться объявление, принадлежит издателю и непосредственно издатель может принадлежать какой-то категории. Например, тип издателя: News, издательство: Acme City Times, страница: Auto News. Пример таксономии демонстрирует вышесказанное. Иерархическая структура для пользователя (рис. 1) и издателя (рис. 2), рекламодателя (рис. 3).

Publisher Hierarchy

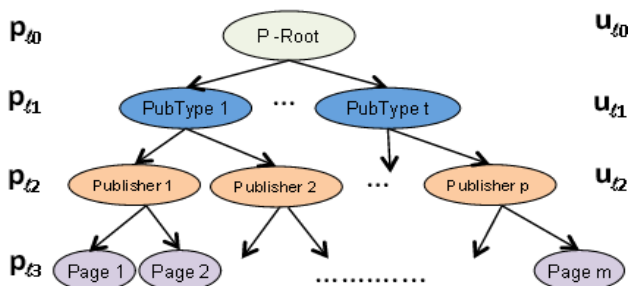


Рис. 1 – Таксономия издателя

User Hierarchy

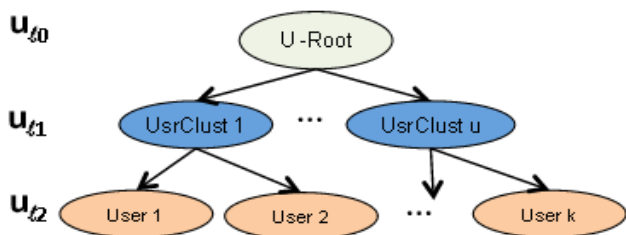


Рис. 2 – Таксономия пользователя

Advertiser Hierarchy

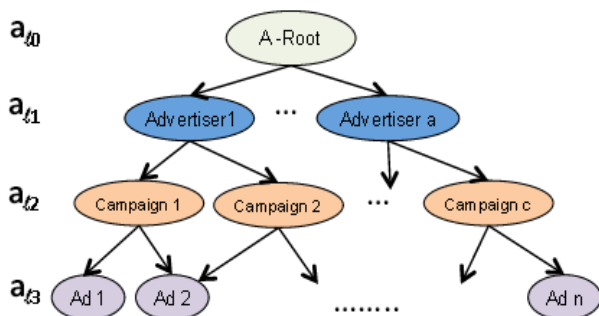


Рис. 3 – Таксономия рекламодателя

Иерархии данных позволяют определить явные или неявные пользовательские кластеры. Явная пользовательская кластеризация, основана на представлении каждого пользователя с помощью набора функций (например, демографическая информация, географических особенностей, уровня доходов, типа веб-сайтов, которые часто посещают, уровня активности и т.д.) и кластеризации на основе некоторых сходство метрики, такие как евклидово расстояние. С другой стороны, неявная кластеризация основана на использовании иерархии данных, а не пользовательских функций. Например, группа пользователей, которые посещают сайты в определенной категории, например спорт, может рассматриваться в качестве неявного кластера. Мы можем представить эту группу, как декартово произведение {Пользователь x Издатель}. Или же по-другому, мы можем также рассмотреть всех пользователей, которым было показано объявление кампании на определенном сайте: {Пользователь x Издатель x Кампания}.

Если мы предположим, что пользователь, издатель, рекламодатель - это l_u, l_p, l_a . Тогда их соответствующие иерархии данных $l_u \times l_p \times l_a$. После чего имея $\{user: u_i, page: p_j\}$ мы можем определить подходящие явные и неявные кластеры пользователей с иерархией данных и использовать прошлые данные подсчета (то есть, количество показов и число переходов) каждого уровня, чтобы получить различные оценки (вероятности), представленной в формуле (1).

$$P_{ijk} = p(Y = 1 | u_i, p_j, a_k) \quad (1)$$

Логистическая регрессия. Логистическая регрессия (Logistic regression) — метод построения линейного классификатора, позволяющий оценивать апостериорные вероятности принадлежности объектов классам.

Основная идея логистической регрессии заключается в том, что пространство исходных значений может быть разделено линейной границей (т.е. прямой) на две соответствующих классам области. Итак, что же имеется ввиду под линейной границей? В случае двух измерений — это просто прямая линия без изгибов. В случае трех — плоскость, и так далее. Эта граница задается в зависимости от имеющихся исходных данных и обучающего алгоритма. Чтобы все работало, точки исходных данных должны разделяться линейной границей на две вышеупомянутых области. Если точки исходных данных удовлетворяют этому требованию, то их можно назвать линейно разделяемыми.

Если одна из переменных (её ещё называют объясняемой) зависит от других факторов (объясняющих переменных), то можно построить уравнение, коэффициенты которого будут свидетельствовать о вероятности для объясняемой переменной принять одно из двух альтернативных значений.

Такое уравнение называется бинарной логистической регрессией.

Использование бинарной логистической регрессии (собственно, как и любого другого метода) не сводится только к выполнению вычислений. Важную роль играет построение модели (какие объясняющие переменные включать в уравнение), осмысление результатов анализа, корректировка исходного уравнения и формулирование выводов.

Что касается интерпретации результатов, то она похожа на интерпретацию значений ОР: если их диапазон при заданном доверительном интервале не включает в себя единицу, то рассматриваемый фактор значимо влияет на объясняемую переменную.

В логистической регрессионной модели предсказанные значения зависимой переменной или переменной отклика не могут быть меньше (или равными) 0, или больше (или равными) 1, не зависимо от значений независимых переменных; поэтому, эта модель часто используется для анализа бинарных зависимых переменных или переменных отклика, указываем в формуле (2).

$$y = \exp(b_0 + b_1 * x_1 + \dots + b_n * x_n) * [1 + \exp(b_0 + b_1 * x_1 + \dots + b_n * x_n)]^{-1} \quad (2)$$

Легко увидеть, что независимо от регрессионных коэффициентов или величин x , предсказанные значения (y) в этой модели всегда будут лежать в диапазоне от 0 до 1.

Термин логистической регрессии произошел от того, что эту модель легко линеаризовать с помощью логит преобразования. Предположим, что бинарная зависимая переменная y является непрерывной вероятностью p , лежащей в диапазоне от 0 до 1. Тогда можно преобразовать эту вероятность p следующим образом (формула (3))

$$p' = \log_e \{p/(1-p)\} \quad (3)$$

Это преобразование называется логит или логистическим преобразованием.

Заметим, что p' теоретически может принимать любые значения от минус до плюс бесконечности. Поскольку логит преобразование решает проблему 0/1 границ для исходной зависимой переменной (вероятности), то можно использовать эти (логит преобразованные) значения в обычном линейном уравнении регрессии.

Фактически, при проведении логит преобразования обеих частей логит регрессионного уравнения, приведенного выше, мы получим стандартную линейную модель множественной регрессии (формула (4))

$$p' = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n \quad (4)$$

Решив уравнение, мы получим значения регрессионных коэффициентов, по которым затем можно восстановить вероятность p .

Теперь снова вернемся к нашему алгоритму.

Вместо того, чтобы выбирать лучшую оценку среди всех оценок, мы стремимся оптимально совместить эти оценки.

Для некоторой функции $f(\cdot): [0,1]^M \rightarrow [0,1]$, который имеет набор параметров, обозначенных β . Для каждого представления, исход всех оценок может быть рассчитан. Кроме того, на данном этапе мы можем наблюдать представления с различными объявлениями и запоминать результаты. Каждое объявление подается другому пользователю на новом сайте, на основе чего вычисляется CTR. Вероятность этих обучающих выборок можно записать в след виде.

Мы можем использовать вероятности и выбрать набор параметров, что они будут максимальными в обучающей выборке. При таком наборе $f(\cdot)$ оптимальный набор параметров можно найти решая следующую задачу оптимизации:

Еще один способ интерпретировать эту формулировку, чтобы воспринимать отдельные оценки как факторы (или особенности) в модели классификации и оптимизации процесса в поиске оптимальных коэффициентов линейной комбинации, что будет классифицировать обучаемые данные как можно точнее. Тем не менее, следует отметить, что, поскольку мы не на столько заинтересованы в классификации кластера, сколько, в оценки его вероятность преобразования, нам необходимы только вероятностные оценки, присвоенные логистической регрессии и нам не требуется выбрать порог классификации.

Мы также можем измерить производительность обработки логистической регрессии в качестве вывода оценки классификации.

Выводы. В результате предложен гибкий и принципиальный подход для оценки коэффициентов пересчета для использования в RTB алгоритме. Рассмотренный алгоритм обеспечивает последовательное улучшение в оценке скорости преобразования над некоторыми базовыми оценками. Представленный подход также предлагает простые, но эффективные рецепты для обработки практических вопросов стойких в реальном DSP, такие как отсутствие данных и дисбаланс между данными. Обучение для предлагаемого подхода в течение большого количества кампаний работает быстро благодаря распараллеливанию на отдельные части кластера.

Список литературы: 1. Agarwal, D. Estimating rates of rare events at multiple resolutions [Text] / D. Agarwal, A. Broder, D. Chakrabarti, D. Diklic, V. Josifovski, M. Sayyadian // ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 2007 – P. 6–20. 2. Ahmed, A. Scalable distributed inference of dynamic user interests for behavioral targeting [Text] / A. Ahmed, Y. Low, M. Aly, V. Josifovski, A. J. Smola // ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 2011. – P. 15–30. 3. Bax, E. Comparing predicted prices in auctions for online advertising [Text] / E. Bax, A. Kuratti, P. McAfee, J. Romero // Int. J. of Industrial Organization, 2012. – P. 4–5. 4. Blei, D. Latent dirichlet allocation [Text] / D. Blei, A. Ng, M. Jordan // J. of Machine Learning Research, 2003. – P. 20–23. 5. Cai, J. F. A singular value thresholding algorithm for matrix completion [Text] / E. J. Candès, and Z. Shen // SIAM J. on Optimization, 2008. – P. 20–23. 6. Cerrato, D. Classification of proxy labeled examples for marketing segment generation [Text] / R. Jones, A. Gupta // ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 2011. – P. 15–20. 7. Chen Y. Real-time bidding algorithms for performance-based display ad allocation [Text] / P. Berkhin, B. Anderson, N. R. Devanur // ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 2011. – P. 15–20. 8. De Leeuw, J. Isotone optimization in r: Pool-adjacent-violators algorithm (pava) and active set methods [Text] / K. Hornik, P. Mair // J. of Statistical Software, 2009. – P. 3–24. 9. Williams, D. On classification with incomplete data [Text] / X. Liao, Y. Xue, L. Carin, B. Krishnapuram // On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 2007. – P. 29. 10. Menon, A. Response prediction using collaborative filtering with hierarchies and side-information [Text] / K. Chitrapura, S. Garg, D. Agarwal, and N. Kota // ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 2011. – P. 21–34. 11. Visa, S. Issues in mining imbalanced data sets - a review paper [Text] / S. Visa // Cognitive Science Conf, 2005. – P. 67–73.

Bibliography (transliterated): 1. Agarwal, D., Broder, A., Chakrabarti, D., Diklic, D., Josifovski, V., Sayyadian, M. (2007). Estimating rates of rare events at multiple resolutions. ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. 2. Ahmed, A. Low, Y., Aly, M., Josifovski, V., Smola, A. J. (2011). Scalable distributed inference of dynamic user interests for behavioral targeting. ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. 3. Bax, E., Kuratti, A., McAfee, P., Romero, J. (2012). Comparing predicted prices in auctions for online

advertising. Int. J. of Industrial Organization, 30:80{88. **4** D. Blei, A. Ng, Jordan, M. (2003). Latent dirichlet allocation. J. of Machine Learning Research, 3:993{1022. **5**. Cai, J.-F., Candès, E. J., Shen, Z. (2008). A singular value thresholding algorithm for matrix completion. SIAM J. on Optimization, 20:1956{1982. **6**. Cerrato, D., Jones, R., Gupta, A. (2011). Classification of proxy labeled examples for marketing segment generation. ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. **7**. Chen, Y., Berkhin, P., Anderson, B., Devanur, N. R. (2011). Real-time bidding algorithms for performance-based display ad allocation. ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. **8**. De Leeuw, J., Hornik, K., Mair, P. (2009). Isotone optimization in r:

Pool-adjacent-violators algorithm (pava) and active set methods. J. of Statistical Software, 32(5):1{24. **9**. Williams, D. Liao, X., Xue, Y., Carin, L., Krishnapuram, B. (2007). On classification with incomplete data. IEEE Trans. On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 29. **10**. Menon, A., Chitrapura, K., Garg, S., Agarwal, D., Kota, N. (2011). Response prediction using collaborative filtering with hierarchies and side-information. ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. **11**. Visa, S., Ralescu, A. (2005). Issues in mining imbalanced data sets - a review paper. Proc. of the 16th Midwest AI and Cognitive Science Conf., 67{73

Поступила (received) 25.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Савченкова Анастасія Юрївна – Студентка, Кафедра Комп'ютерних наук, Донецький національний технічний університет, пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, Донецька область, Україна, 85300,

Савченкова Анастасія Юрьевна – Студентка, Кафедра Компьютерных наук, Донецкий национальный технический университет, пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, Донецкая область, Украина, 85300;

Savchenkova Anastasiya – Student, the Department of Computer Sciences, Donetsk National Technical University; Shybankova, 2., Krasnoarmeysk, Donetsk region, Ukraine, 85300; e-mail: nasstya05@gmail.ru

УДК 338.24.01

Е. А. КОВАЛЕВА

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕБЕСТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ИЗДАНИЙ

Данная статья посвящена построению эконометрических моделей себестоимости электронных мультимедийных изданий на основании статистических данных издательского центра "Академия". В статье автор рассматривает эконометрические модели двух типов – аддитивную и мультипликативную. Каждая из моделей построена прямым пошаговым методом, на каждой итерации которого методом наименьших квадратов оценивались значения параметров модели, анализировались статистическая значимость коэффициента при переменной, введенной на текущей итерации, и значение скорректированного коэффициента множественной детерминации.

Ключевые слова: эконометрическая модель, себестоимость, электронные мультимедийные издания.

Введение. На сегодняшний день ХНЭУ им. С. Кузнеця активно занимается разработкой и внедрением в учебный процесс электронных мультимедийных изданий (ЭМИ) [1]. Этот процесс осуществляется в русле общих проводимых в отечественном образовании реформ, обусловленных переходом к новой образовательной парадигме, приоритетами которой является повышение качества подготовки специалистов и их соответствие уровню требований интенсивно развивающегося общества. Одним из перспективных путей повышения качества подготовки специалистов признается широкое внедрение в учебный процесс ЭМИ, позволяющих управлять процессами образовательной деятельности. К числу ЭМИ в том числе относятся электронные учебники и пособия (ЭУ и ЭП). Вопрос стоимости создания ЭУ и ЭП – один из ключевых, ответ на который может предопределить судьбу электронного учебного издания. Каких-либо регламентированных методик расчета стоимости создания электронных учебных изданий пока не создано [2]. В данном случае каждая команда разработчиков вынуждена создавать собственную методику расчета стоимости создания ЭУ и ЭП.

Так как создание ЭМИ является достаточно новым видом деятельности, вопрос себестоимости продуктов такого рода весьма сложен. С одной стороны, создание ЭУ и ЭП – достаточно трудоемкий и специфический процесс, требующий приложения большого

количества усилий [3]; с другой стороны, рынок диктует свои ограничения на цену ЭМИ.

Так как утвержденной или хотя бы общепринятой методики расчета стоимости создания ЭМИ нет, в данной статье автор предлагает свой вариант расчета себестоимости ЭМИ, используя эконометрические модели, концепции, приемы.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Для обоснованного выбора методологических подходов к моделированию себестоимости ЭМИ проанализировано достаточное количество работ, включающих опыт эконометрического моделирования большинства социально-экономических систем. Так, в работах [4 – 6] показано, что на сегодняшний день лучшие результаты дают именно эконометрические модели. Работы [7, 8] посвящены ценообразованию и себестоимости различных объектов так же используя эконометрический подход. Но ни одна из выше перечисленных работ не описывает себестоимость ЭМИ. Это объясняется тем, что ЭМИ достаточно новый вид продукции, себестоимость которого является не решенной задачей.

С другой стороны, существует достаточное количество статей, посвященных технологиям создания, развитию и практическому использованию ЭМИ как в учебном процессе, так и в коммерческой сфере [9 – 11].

© Е. А. Ковалева. 2015

Нужно отметить, что в данных работах вопросам себестоимости ЭМИ уделено недостаточное внимание, не имеющее математического подтверждения вообще.

Цели и задачи исследования. Исходя из проведенного анализа литературы в статье ставится следующая цель: разработать экономико-математическую модель себестоимости электронных мультимедийных изданий на основании статистических данных издательского центра «Академия» (Россия, г. Москва) и ХНЭУ им. С. Кузнеця (Украина, г. Харьков).

Для выше поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Отбор факторов (количественных показателей), тем или иным образом влияющих на результирующий признак – себестоимость ЭМИ.

2. Спецификация формы модели на основании графического представления исходных данных и теоретико-экономического анализа.

3. Оценка параметров модели с учетом отобранных факторов и выбранной формой модели.

4. На основе реальных данных провести расчет себестоимости электронного учебника издательского центра ХНЭУ им. С. Кузнеця.

Спецификация модели себестоимости ЭМИ.

Себестоимость любой продукции, включая ЭМИ – это денежное выражение непосредственных затрат предприятия на производство и реализацию продукции.

Проведя теоретический анализ непосредственных затрат на изготовление ЭМИ, а также специфики самой продукции, автором данной работы предлагаются следующие факторы, влияющие (прямо или косвенно) на стоимость реализации подобного программного продукта: стоимость труда команды разработчиков ЭМИ и привлекаемых внешних участников в процесс его реализации; стоимость лицензионного программного обеспечения, используемого для создания электронного учебного издания; объем одной публикации (количество слайдов) ЭМИ; стоимость тиражирования, распространения и хранения ЭМИ; стоимость сопровождения, переработки и переиздания ЭМИ.

Для формирования эффективной методики многофакторной оценки себестоимости ЭМИ с учетом построения прогнозной модели в данной статье пред-

лагается проведение анализа влияния вышеизложенных показателей на примере отдельного вида экономической деятельности издательского центра «Академия» (Россия, г. Москва). Данный анализ включает в себя основные методы статистического моделирования. Обработка собранной аналитической информации проводится с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Фрагмент исходных данных, а так же показатели и обозначения, используемые при выполнении корреляционно-регрессионного анализа, приведены на рис. 1.

В результате проведения корреляционного анализа была получена матрица коэффициентов Пирсона (табл. 1). Пороговое значение значимости коэффициента корреляции, определяющее наличие стохастической связи в данном исследовании, было выбрано 0,4.

Таким образом, исследование результатов ранжирования показывает, что наибольшее влияние на результирующий признак Y (себестоимость ЭМИ) оказывают следующие показатели: X_2 (объем публикации), X_4 (затраты на хранение и распространение), X_5 (отчисления за использование лицензионного ПО); среднее влияние на результирующий признак Y оказывает показатель X_3 (средняя цена записи CD); и наименьшее влияние оказывает показатель X_1 (средняя стоимость оплаты труда разработчиков).

После того, как были выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на себестоимость рассматриваемого объекта, был проведен подбор вида функциональной зависимости, т. е. выбор вида многофакторной регрессионной модели, основываясь на графическом отображении исходных данных (рис. 2).

От правильности этого выбора зависит, насколько построенная модель будет адекватна изучаемому явлению, т. е. будет ли она соответствовать ему при заданном уровне точности, что в свою очередь, предопределяет практическую ценность получаемых результатов.

Согласно рис. 2 можно использовать наиболее распространенную аддитивную модель, описывающуюся соотношением (1).

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j X_j . \quad (1)$$

Таблица 1 – Корреляционная матрица Пирсона

Факторы	Затраты на производство (Y)	Средняя стоимость оплаты труда разработчиков (X1)	Объем публикации (количество слайдов) (X2)	Средняя цена записи CD (X3)	Затраты на хранение и распространение (X4)	Отчисления за использование лицензионного ПО (X5)
Y	1	-	-	-	-	-
X1	0,034	1	-	-	-	-
X2	0,774	0,089	1	-	-	-
X3	0,481	-0,119	0,383	1	-	-
X4	0,560	-0,157	0,426	0,703	1	-
X5	0,590	0,017	0,575	0,332	0,409	1

Затраты на производство (Y)	Средняя стоимость оплаты труда разработчиков (X1)	Объем публикации (количество слайдов) (X2)	Средняя цена записи CD (X3)	Затраты на хранение и распространение (X4)	Отчисления за использование лицензионного ПО (X5)
1011	107	64	20,33	92	700
799	102	37	20,04	83	460
995	107	41	19,87	95	680
1243	122	71	20,48	124	700
1507	108	80	20,13	96	700
947	102	41	20,26	106	680
1015	107	78	19,89	70	700
1169	109	63	19,92	97	700
1051	101	68	19,79	76	700
1372	116	84	20,23	112	700
1463	113	79	20,46	113	700
684	102	40	20,07	109	460
1251	106	75	20,23	91	700

1336	115	74	20,4	117	700
1412	109	60	20,26	93	700
1447	108	75	19,79	81	700
1593	114	94	20,33	103	700
1663	107	99	20,24	86	700
1114	198	81	19,83	79	700
863	104	61	19,97	92	680
932	107	49	20,1	85	680
978	105	58	20,01	89	680
1621	123	73	20,21	121	700
1199	119	59	20,4	125	700
999	105	49	19,66	69	680
935	103	46	19,37	61	680
1494	120	88	20,25	116	700

Рис. 1 – Исходные данные для построения модели

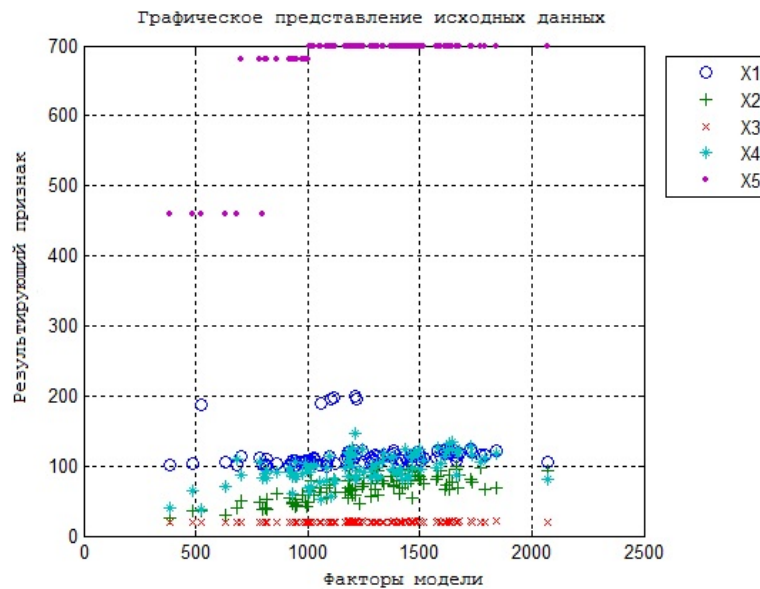


Рис. 2 – Зависимость исходных данных: ○ – фактор X1, + – фактор X2, × – фактор X3, * – фактор X4, • – фактор X5 от результирующего признака Y

С другой стороны, задача построения модели себестоимости ЭМИ является производственной задачей, для которой наиболее часто используются мультипликативные модели:

$$Y = \beta_0 \cdot \prod_{j=1}^m X_j^{\beta_j} . \tag{2}$$

Одним их преимуществ модели (2) является то, что параметры b_j ($j = \overline{1, m}$) имеют конкретный эко-

номический смысл – в таких моделях они являются коэффициентами эластичности.

Исходя из проведенного теоретического анализа автором было принято решение по построению модели многофакторной регрессии как вида (1), так и вида (2) с дальнейшим выбором одной из них, максимально удовлетворяющей соответствующим критериям качества моделей.

Оценка параметров и анализ адекватности моделей. Построение моделей (1) и (2) производилось прямым пошаговым методом. На каждой итерации пошагового метода выполнялись следующие действия: методом наименьших квадратов оценивались значения параметров модели, анализировались статистическая значимость коэффициента при переменной, введенной на данной итерации, и значение скорректированного коэффициента множественной детерминации. Если оказывалось, что переменную стоит вводить в модель, то проводился анализ остатков на наличие выбросов. Наблюдения, соответствующие остаткам, классифицированным как выбросы, удалялись. Для оставшихся наблюдений оценивались значения коэффициентов регрессии, после чего переходили к следующей итерации. В результате были по-

строены две модели, в которые вошли от трех до пяти факторов.

Таким образом, результат выполнения построения моделей вида (1) и (2) описывается соответствующими соотношениями (3) – (5):

- аддитивная модель после выбраковки незначимых членов модели:

$$\tilde{Y} = 10.81X_2 + 3.93X_4 + 0.88X_5 ; \tag{3}$$

- мультипликативная модель без учета корреляционной зависимости факторов с результирующим признаком:

$$\tilde{Y} = 0.02X_1^{1.08} X_2^{1.78} X_3^{2.54} X_4^{1.31} X_5^{1.86} ; \tag{4}$$

- мультипликативная модель после выбраковки незначимых членов модели:

$$\tilde{Y} = X_2^{1.80} X_4^{1.34} X_5^{1.83} . \tag{5}$$

Статистический анализ данных моделей приведен в табл. 2.

Таблица 2 – Эконометрические показатели моделей (3) – (5)

Вид модели	Аддитивная модель	Мультипликативная	
		Без учета данных табл. 1	С учетом данных табл. 1
Значимость членов модели	Все коэффициенты являются значимыми	0.02 не значим 1.08 не значим 1.78 значим 2.54 не значим 1.31 значим 1.86 значим	Все коэффициенты являются значимыми
RMSE	184.12	184.63	143.60
R ²	0.6793	0.7699	0.7674
R ² _{adj}	0.6658	0.7575	0.7576
F	67.08 (модель значима в целом)	62.24 (модель значима в целом)	104.49 (модель значима в целом)

Интерпретация коэффициентов модели (3). Коэффициент $\beta_2 = 10.81$ показывает, что увеличение объема публикации на каждые 10 слайдов приводит к увеличению себестоимости ЭМИ на 108 грн 10 коп; коэффициент $\beta_4 = 3.93$ показывает, что при увеличении затрат на хранение и распространение ЭМИ на 100 грн приводит к увеличению себестоимости последнего на 393 грн; коэффициент $\beta_5 = 0.88$ показывает, что изменение отчислений за использование лицензионного ПО на каждые 1000 грн приводит к увеличению себестоимости ЭМИ на 880 грн.

Анализ эконометрических показателей модели (3). Коэффициент детерминации $R^2 = 0.6793$ показывает, что данная модель объясняет 67.93% общей изменчивости себестоимости ЭМИ. Однако недостаток этого коэффициента состоит в том, что его значение не убывает с ростом числа объясняющих переменных. В этом смысле предпочтительней использовать для анализа модели скорректированный коэффициент детерминации $R_{adj}^2 = 0.6658$ (66.58 %), который может

уменьшаться при введении в регрессионную модель переменных, не оказывающих существенного влияния на зависимую переменную. Дисперсионное отношение Фишера $F = 67.08$ показывает, что изменчивость расчетных значений почти в 67 раз превышает изменчивость помехи (остатков модели) и так как оно превышает его табличное значение ($F_t = 11.69$) при принятом уровне значимости 5%, то модель можно признать значимой в целом.

Аналогичным образом поддаются экономической обоснованности как коэффициенты моделей (4) и (5), так и их статистические показатели.

Для выбора оптимальной модели был выбран критерий *RMSE* – среднеквадратическая ошибка регрессии, которая рассчитывается как

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2} . \tag{6}$$

Как видно из формулы (6), *RMSE* показывает, насколько велика, в среднем, разница между действительными наблюдениями и значениями, предсказан-

ными моделью. По определению, чем меньше RMSE, тем точнее предсказания. Для приведенных выше трех моделей предпочтение необходимо отдать аддитивной модели (3) и мультипликативной модели (5).

Апробация модели. Построенные модели прошли апробацию на реальных объектах. Автору удалось добиться величины средней ошибки аппроксимации аддитивной модели (3) на уровне 8 % и муль-

типликативной модели (5) на уровне 10 %, что является, в принципе, неплохим результатом.

Для иллюстрации того, как проводилась апробация модели (3) в данной работе приведены расчеты себестоимости электронного учебника «Вища математика: математичний аналіз, лінійна алгебра, аналітична геометрія» (ISBN 978-966-676-568-3) издательского центра ХНЭУ им. С. Кузнеца (Украина, г. Харьков) по исходным данным, приведенным в табл. 3.

Таблица 3 – Затраты на создание электронного учебника «Вища математика: математичний аналіз, лінійна алгебра, аналітична геометрія»

Факторы, входящие в модель	Значения факторов, входящих в модель
объем публикации (X2)	1935 слайдов
затраты на хранение и распространение (X4)	143 грн
отчисления за использование лицензионного ПО (X5)	700 грн

Подставляя значение характеристик табл. 3 в уравнение (3), получим:

$$\tilde{Y} = 10.81 \cdot 1935 + 3.93 \cdot 143 + 0.88 \cdot 700 = 22095 \text{ грн.}$$

Таким образом, с помощью регрессионной модели (3) была получена величина себестоимости электронного учебника, которая составила 22095 грн.

В результате оценки этого учебника классическими методами экспертной оценки была получена следующая себестоимость, равная 20195 грн.

Вычислим относительную погрешность оценки с помощью регрессионной модели:

$$\varepsilon = \frac{22095 - 20195}{20195} \times 100\% = 9.4 \%$$

Полученное значение погрешности (9,4 %) свидетельствует о высоком качестве прогноза.

Выводы. В статье была рассмотрена и реализована методология построения эконометрических моделей различной формы, предназначенных для анализа и прогноза себестоимости, электронных мультимедийных изданий. Особенностью предложенной методологии эконометрического моделирования является пошаговая процедура построения эконометрических зависимостей и отбор лучших моделей на основании учета среднеквадратической ошибки регрессии.

В начале статьи приводится построение аддитивной модели, предназначенной как для теоретического описания важнейших факторов, влияющих на электронное мультимедийное издание, так и для осуществления прогнозных значений себестоимости ЭМИ, которые будут издаваться на Украине. Эта модель помогает понять структурные взаимосвязи, присущие современному ЭМИ и сформировать набор объясняющих переменных для результативного признака.

Далее в статье приводится построение двух мультипликативных производственных моделей, в одной из которых была предпринята попытка учесть большее количество объясняющих переменных по сравнению с аддитивной моделью. Однако, несмотря на доказанную значимость обеих моделей последняя была получена с набором незначимых коэффициентов

и отбракована, для дальнейшего анализа она не представляла особого интереса.

В заключение была проведена апробация первой модели, которая показала, что уравнение регрессии применимо для прогнозирования возможных ожидаемых значений результативного признака. Единственным недостатком такой модели можно считать следующее: нельзя подставлять значения факторного признака, значительно отличающиеся от входящих в базисную информацию, по которой вычислено уравнение регрессии. Автор рекомендует при определении значений факторов не выходить за пределы трети размаха вариации, как за минимальное, так и за максимальное значение признака-фактора, имевшееся в исходной информации.

Список литературы: 1. Анохин, В. Н. Интерактивность – главный признак электронных учебных изданий [Текст] / В. Н. Анохин // Матеріали 3 міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та захист інформації». – 2012. – Харків: ХНЭУ. – С. 215–216. 2. Зеленко, Л. С. Разработка программного обеспечения для наполнения образовательного контента в среде lms moodle [Текст] / Л. С. Зеленко // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – No 4–2. – С. 471–475. 3. Ковалева, Е. А. Разработка тренировочного упражнения решения систем линейных алгебраических уравнений в Adobe Captivate [Текст] / Е. А. Ковалева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 5, N 3(65). – С. 9–12. 4. Chen, H. (2014). Systemic risk and the interconnectedness between banks and insurers: An econometric analysis [Text] / H. Chen // Journal of Risk and Insurance. – 2014. – Vol. 81, No. 3. – P. 623–652. 5. Wells, K. (2014). Treatment research at the crossroads: the scientific interface of clinical trials and effectiveness research [Text] / K. Wells // American Journal of Psychiatry. – 2014. – No 2. – P. 123–125. 6. Уварова, І. С. Модель впливу міжнародних міграційних процесів на економіку України [Текст] / І. С. Уварова // Бізнес Інформ. – 2015. – No2. – С. 119–124. 7. Sbordone, A. M. Prices and unit labor costs: a new test of price stickiness [Text] / A. M. Sbordone // Journal of Monetary Economics. – 2002. – Vol. 49, No. 2. – P. 265–292. 8. Nakamura, E. Five facts about prices: A reevaluation of menu cost models [Text] / E. Nakamura, J. Steinsson // The Quarterly Journal of Economics, 2015. – P. 1415–1464. 9. Елистратова, Н. Н. Электронный учебник как средство и условие мультимедийного обучения в педагогике высшей школы [Текст] / Н. Н. Елистратова // ПЕДАГОГИКА. ОБРАЗОВАНИЕ. – 2014. – Т. 869. – С. 15. 10. Юркина, С. В. Использование информационно-коммуникационных технологий в организации обучения в начальной школе [Текст] / С. В. Юркина // Сборники конференций НИЦ Социосфера. – Vedecko vydavateľske centrum Sociosfera-CZ sro. – 2010. – No. 5. – С. 23–27. 11. Huggins, D. J. et al. Concepts in Toxicology: Development of Online Instructional Modules [Text] / D. J. Huggins, et al. // Chemistry International. – 2015. – Т. 37, No 1. – P. 12–14. 12. Семеновских, Т. Электронный учебник как средство e-learning обучения в вузе [Текст] / Т. Семеновских // КПЖ. – 2015. – No 6-2. – С. 5–8.

Bibliography (transliterated): 1. *Anokhin, V. N.* (2012). Interactive is a main sign of electronic educational editions. Materials 3 international naukovopraktichnoy conference «Information technologies and priv», Kharkov: KhNUE, 215–216. 2. *Zelenko, L. S.* (2014). Software for filling educational content among lms moodle. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, No 4–2, 471–475. 3. *Kovaleva, E. A.* (2013). Development of a training exercise for solving systems of linear algebraic equations in Adobe Captivate. Eastern European Journal of advanced technologies, V. 5, N 3 (65), 9–12. 4. *Chen, H.* (2014). Systemic risk and the interconnectedness between banks and insurers: An econometric analysis. Journal of Risk and Insurance, V. 81, No. 3, 623–652. 5. *Wells, K.* (2014). Treatment research at the crossroads: the scientific interface of clinical trials and effectiveness research. American Journal of Psychiatry, N 2, 123–125. 6. *Uvarova, I.* (2015) Model the impact of international migration on the economy of

Ukraine. Business Info, No2, 119–124. 7. *Sbordone, A. M.* (2002). Prices and unit labor costs: a new test of price stickiness. Journal of Monetary Economics, Vol. 49, No. 2, 265–292. 8. *Nakamura, E., Steinsson, J.* (2015). Five facts about prices: A reevaluation of menu cost models. The Quarterly Journal of Economics, 1415–1464. 9. *Elistratova, N. N.* (2014). Electronic textbook as a means and condition of media education in pedagogy of higher education. PEDAGOGY. EDUCATION, Vol. 869, 15. 10. *Jurkova, S. V.* (2010). Information and communication technologies in the organization of primary school. Collectors conferences SIC sociosphere, No. 5, 23–27/ 11. *Huggins D. J. et. al.* (2015). Concepts in Toxicology: Development of Online Instructional Modules. Chemistry International, Vol. 37, No 1, 12–14. 12. *Semenovskaya, T.* (2015). Electronic textbook as a means of e-learning training in high school. CSW, No 6–2, 5–8.

Поступила (received) 20.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковалева Катерина Александровна – Кандидат технічних наук, преподаватель, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Кафедра высшей математики и экономико-математических методов, пр. Ленина, 9-А, г. Харьков, Украина, 61166;

Ковальова Катерина Олександрівна – Кандидат технічних наук, викладач, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Кафедра вищої математики та економіко-математичних методів, пр. Леніна, 9-А, м Харків, Україна, 61166; e-mail: Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua.

Kovalova Katerina – Lecturer, Candidate of technical science, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, The department of Mathematics High society and economic-mathematical methods, Lenin Avenue, 9av, Kharkov, Ukraine, 61166; e-mail: Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua.

УДК 681.586:531.768:621.385.6

М. Ф. ЖОВНІР, О. О. ОЛІЙНИК

РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ НА ПАХ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ТА КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ. ЧАСТИНА 1.

Розглядаються вимірювальні перетворювачі (ВП) на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) для вимірювання лінійних та кутових переміщень з формуванням точної, проміжної та грубої шкали на основі фазового набігання ПАХ на різних частотах. Описані конструктивні особливості складових елементів перетворювачів. Для демонстрації метрологічної цінності розроблених ВП приведені результати розрахунків чутливості, похибок, роздільної здатності та інших метрологічних параметрів. Результати описаних підходів вимірювання фазового зсуву можуть бути використані для подальшого проектування прецизійних пристроїв та систем позиціонування, а також перетворювачів з широким динамічним діапазоном лінійних та кутових надмалих переміщень.

Ключові слова: пристрої на ПАХ, перетворювачі переміщення, вимірювання фазового зсуву, прецизійне позиціонування.

Вступ. Мікроелектронні пристрої, що використовують ефекти затримки поверхневих хвиль (електромагнітних, магнітостатичних, акустичних), перспективні не тільки для формування та оброблення інформаційних сигналів, але і для прецизійних вимірювань фізичних та механічних величин. В теперішній час приділяється велика увага вимірювальним перетворювачам (ВП) на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), які при відносно невисоких частотах (десятки-сотні мегагерц), у порівнянні з електромагнітними та магнітостатичними хвилями, забезпечують, завдяки малим довжинам хвиль, простоті їх збудження та приймання, високу чутливість перетворення інформаційних сигналів в широкому динамічному діапазоні при застосуванні частотних та фазових методів вимірювання. Такі перетворювачі можуть використовуватись для вимірювання напруженостей електричного та магнітного полів, сили та тиску, прискорення, крутного моменту, лінійних та кутових переміщень, вологості та температури, складу газового середовища тощо [1–6]. Якщо дія механічних та фізичних ве-

личин призводить до набігу фази ПАХ не більшому π , то в основі ВП на ПАХ доцільно застосовувати високостабільний ПАХ-генератор, що містить регульовані під впливом вимірювальних величин резонатор або лінію затримки на ПАХ. Застосування частотного метода вимірювання дозволяє отримувати високу роздільну здатність і точність [1–3, 5].

Однак, при необхідності вимірювання лінійних або кутових переміщень в динамічному діапазоні до 100...200 мм (360 кут. град.) необхідно застосовувати фазовий метод вимірювання. Для усунення багатозначності фазових вимірювань запропоновано метод вимірювання на основі використання фазового набігання кількох поверхневих акустичних хвиль, що поширюються на поверхні п'єзоелектричного звукопроводу на різних частотах, на яких вимірюються інформаційні параметри, що визначають положення рухомого приймача ПАХ [7]. Результати розрахунків показують [8], що при роздільній здатності $\psi_{\text{min}} = 0,1$ ел.град. та

© М. Ф. Жовнір, О. О. Олійник. 2015

похибці $\Delta\psi = \pm 0,5 \text{ ел.град.}$ вимірювання фази промисловими фазометрами, при 3-х частотному методі вимірювання, потенційні параметри ВП на ПАХ лінійних та кутових переміщень складають: діапазон переміщень – $0 \dots 100 \text{ мм}$ ($0 \dots 360^\circ$); роздільна здатність на точній шкалі – $0,013 \text{ мкм}$ ($0,175 \text{ кут. сек.}$); похибка на точній шкалі – $\pm 0,065 \text{ мкм}$ ($\pm 0,85 \text{ кут. сек.}$).

Постановка проблеми. На рис. 1 представлена функціональна схема ВП на ПАХ при збудженні хвилі у вигляді суперпозиції 3-х поверхневих акустичних хвиль з частотами f_1, f_2, f_3 [7, 8]. Первинний перетворювач складається із п'єзоелектричного звукопроводу (хвилеводу) 1 з поглиначами ПАХ 2 та 3, необхідних для створення режиму біжучих хвиль, вхідного та контрольного зустрічно-штирових перетворювачів (ЗШП) 4 та 5, сформованих на п'єзоелектричному звукопроводі, над яким на відстані X , не більшій довжини поверхневих акустичних хвиль, переміщується приймач ПАХ 6, виконаний у вигляді ЗШП, сформованого на діелектричній пластині.

Електричний сигнал з генераторного блоку 7, що складається із трьох високостабільних генераторів та суматора, подається на вхідний ЗШП і збуджує у вигляді суперпозиції 3-х гармонічних коливань поверхневу акустичну хвилю, яка приймається рухомих приймачем 6 і контрольним ЗШП 5, вихідні сигнали з яких поступають на блоки підсилення і фільтрації 8 та 9, що складаються із високочастотних підсилювачів та 3-х фільтрів відповідно на частоти $f_{1,2,3}$. Після підсилення та фільтрації вихідні сигнали з блоків 8 та 9 поступають на фазовимірювальні блоки 10 та 11, на які подаються опорні сигнали з генераторного блоку. Результати вимірювання фаз Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 сигналів з рухомого приймача поступають в блок обробки та формування трьох вимірювальних шкал перетворювача 12.

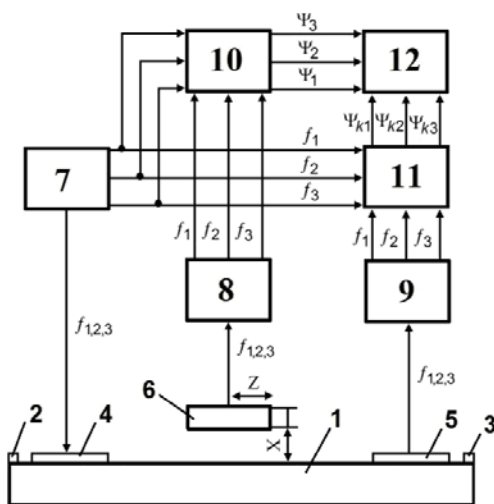


Рис. 1 – Функціональна схема ВП на ПАХ для вимірювання лінійних та кутових переміщень

Наприклад, для формування точної шкали використовуються результати вимірювання Ψ_1 на частоті

f_1 . Визначаючи $\Psi_{12} = \Psi_1 - \Psi_2$ або $\Psi_{13} = \Psi_1 - \Psi_3$ можна сформувати проміжну шкалу, а визначення $\Psi_{123} = \Psi_{13} - \Psi_{12}$ дозволить сформувати грубу шкалу вимірювального перетворювача.

В блок 12 одночасно поступають результати вимірювання фаз сигналів $\Psi_{k1}, \Psi_{k2}, \Psi_{k3}$ з блоку 11 для коригування фаз Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 при дії дестабілізуючих факторів на звукопровід. Для цього визначається величина додаткового набігу фази для кожної частоти $f_{1,2,3}$ для координати Z , в якій знаходиться рухомий приймач ПАХ за формулою:

$$\Delta\Psi_{Z,1,2,3} = \Delta\Psi_{k,1,2,3} Z/L,$$

де $\Delta\Psi_{k,1,2,3}$ – приріст фази на частотах $f_{1,2,3}$ в результаті дії дестабілізуючих факторів; L – відстань між вхідним 4 та контрольним 5 ЗШП; Z – координата знаходження рухомого приймача ПАХ, що визначається попередньо в результаті вимірювання фаз Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 .

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є дослідження параметрів розробленого 3-х частотного ВП лінійних та кутових переміщень на ПАХ, а також оцінка отриманих експериментальних результатів. Задачами дослідження є аналіз конструктивних та метрологічних параметрів та пошук методів для їх поліпшення.

Конструкції та параметри первинних перетворювачів на ПАХ. На рис. 2 та рис. 3 зображено експериментальні ПАХ-модулі для вимірювання лінійних та кутових переміщень. Дослідження проводились на частотах $f_1 = 70,62 \text{ МГц}$, $f_2 = 62,52 \text{ МГц}$, $f_3 = 71,69 \text{ МГц}$.

ПАХ-модуль для лінійних переміщень містить п'єзоелектричний звукопровід 1 із ніобату літія YZ-зрізу (фазова швидкість ПАХ $V = 3488 \text{ м/с}$) з вхідним та контрольними трьохсекційними зустрічно-штировими перетворювачами.

ПАХ-модулі на базі плівкової структури ZnO на плавленому кварці SiO_{2nl} марки КУ-1 використовувались як для вимірювання лінійних, так і кутових переміщень.

Просторові періоди кожної секції вхідного, контрольного та ЗШП рухомого приймача ПАХ дорівнюють відповідним довжинам поверхневих акустичних хвиль $W_{1,2,3} = \lambda_{1,2,3}$ з числом електродів $N=40$ та апертурою $W_0=2 \text{ мм}$. Так, у випадку використання звукопроводу із ніобату літію $\lambda_1 = 49,39 \text{ мкм}$; $\lambda_2 = 50,17 \text{ мкм}$; $\lambda_3 = 48,65 \text{ мкм}$. Для плівкової структури $ZnO-SiO_{2nl}$ при товщині півки ZnO $h = (1,4 \div 1,6) \text{ мкм}$ фазова швидкість ПАХ у хвилеводі $V = 3250 \text{ м/с}$, а довжини хвиль для відповідних частот мають наступні значення: $\lambda_1 = 46,00 \text{ мкм}$; $\lambda_2 = 46,73 \text{ мкм}$; $\lambda_3 = 45,33 \text{ мкм}$.

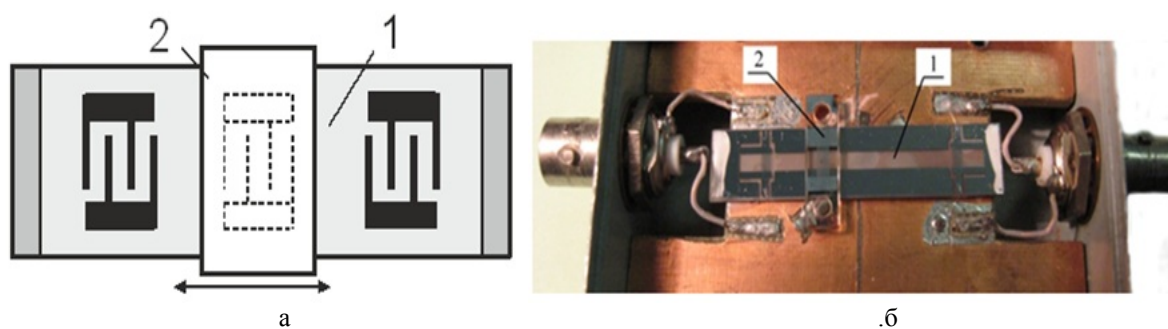


Рис. 2 – Первинний перетворювач лінійних переміщень з рухомим приймачем ПАХ: а – ескіз, б – конструкція; 1 – звукопровід ПАХ; 2 – рухомий приймач ПАХ

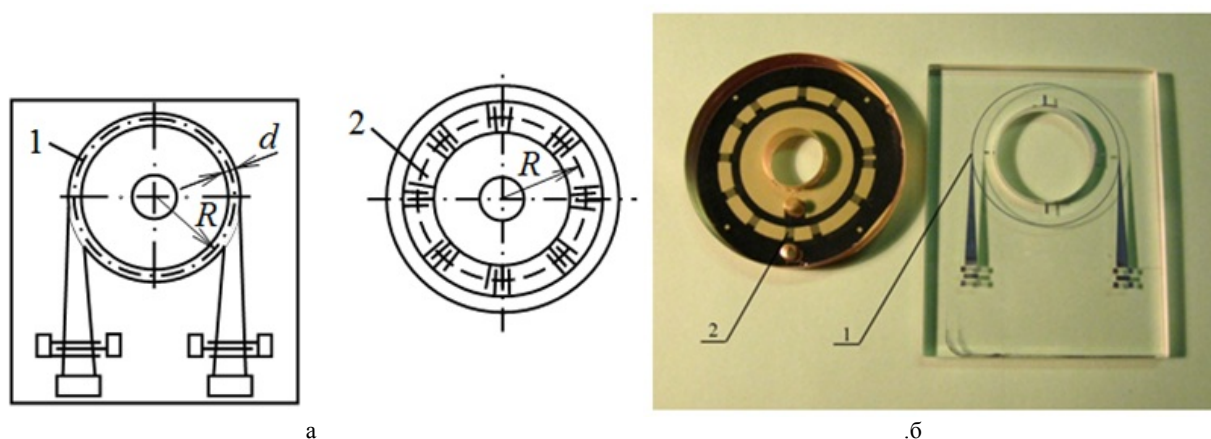


Рис. 3 – Первинний перетворювач кутових переміщень з рухомим приймачем ПАХ: а – ескіз, б – конструкція; 1 – хвилевід ПАХ; 2 – рухомий приймач ПАХ

Для збудження хвиль у плівкових структурах застосовано плівковий зустрічно-штировий перетворювач ПАХ: плавлений кварц – ЗШП – п’єзоелектрична плівка ZnO – металевий електрод, що закорочує електричне поле плівки [9, 10]. Така конструкція дозволяє отримувати високу ефективність електроакустичного перетворення при тонких п’єзоелектричних плівках, що мають товщину $h/\lambda = 0,03 \dots 0,04$, де h – товщина плівки оксиду цинку; $\lambda = V/f$, де V , λ , f – фазова швидкість, довжина хвилі і частота ПАХ відповідно.

Для вимірювання кутових переміщень хвилевід виконаний у вигляді кільця з радіусом $R = 15$ мм з рупорним концентратором. На установці оптичного зондування гомодинного типу були досліджені прямолінійні та кільцеві ПАХ-хвилеводи шириною $d = (3 \div 5)\lambda = (120 \div 200)$ мкм та товщиною п’єзоелектричної плівки ZnO $h = (1,4 \div 1,6)$ мкм. При вказаних геометричних параметрах у хвилеводах спостерігався одномодовий характер поширення ПАХ при втратах на поширення $2,0 \dots 2,5$ дБ/см.

Рухомий приймач ПАХ виконаний у вигляді ексцентричних ЗШП на кожну частоту $\lambda_{1,2,3}$, сформованих на плавленому кварці.

Приймач ПАХ для ВП кутових переміщень виконаний у вигляді ексцентричних рівномірно розпо-

ділених по кільцю ЗШП, по чотири секції на кожну частоту $f_{1,2,3}$, сформованих на плавленому кварці.

Внесені втрати при зміні відстані в інтервалі $X/\lambda = 0 \dots 0,5$ між поверхнею п’єзоелектричного звукопроводу (хвилеводу) та рухомим ПАХ-приймачем складають $25 \dots 50$ дБ.

Вхідні, контрольні та ЗШП рухомого приймача виготовлялися методом наплення алюмінію товщиною $0,27$ мкм (для звукопроводу із ніобат літію напильявся також підшар ванадію товщиною $0,03$ мкм) на установці вакуумного наплення УВН-71П-3 і формування структури електродів методом фотолітографії.

Наплення п’єзоелектричної плівки ZnO товщиною $1,4 \dots 1,6$ мкм на підкладку із плавненого кварцу SiO_{2nl} виконувалось на установці іонно-плазменного наплення УРМ3.279.026.

Технологічна база, що базується на промислово обладнанні, дозволила забезпечити виготовлення елементів первинних перетворювачів на задані частоти з похибкою не гірше $\pm 0,1$ %.

Результати експериментальних досліджень вимірювальних перетворювачів на ПАХ. Для формування високочастотного сигналу у вигляді суперпозиції синусоїдних електричних коливань на частоті

тах $f_{1,2,3}$: $f_1 = 70,62$ МГц; $f_2 = f_1(1 - \delta_2)$ та $f_3 = f_1(1 + \delta_3)$, де $\delta_2 = 1/64$ і $\delta_3 = 31/2048$ було розроблено генераторний блок, що складається із трьох ПАХ-генераторів, вихідні сигнали яких поступають на суматор.

Автогенератори виконані на базі транзисторів КТ 3101, лінії затримки на ПАХ на базі кварцу ST-зрізу в якості частотно-задавальних елементів, перестроювання частот ПАХ-генераторів здійснюється за допомогою варикапів КВ 109Д.

Амплітуда сигналу на кожній частоті на виході генераторного блоку становить не менше 1,0 В. Експериментально отримано перестроювання частот $\Delta f/f_0 = \pm 0,28\%$, що дозволяє здійснювати підстроювання частот в заданих границях при короткочасній нестабільності частоти $10^{-7} c^{-1}$.

Для підсилення та фільтрації вихідного сигналу з приймача ПАХ та контрольного ЗШП розроблено блок підсилення та фільтрації, що складається із підсилювача трьохчастотного сигналу, трьохканальних підсилювачів та трьох ПАХ-фільтрів. В якості активних елементів високочастотних підсилювачів вибрана мікросхема типу М42177-2 – напівпровідниковий двокаскадний підсилювач з буферним каскадом. Смуги пропускання ПАХ-фільтрів 470...530 кГц, внесені втрати при компенсації статичних ємностей ЗШП складають 16...18 дБ. Гарантоване послаблення сигналів за смугами пропускання не менше 45 дБ. Схеми автоматичного регулювання підсилення складаються із діодних детекторів високочастотних коливань, побудованих за схемами подвоєння напруги, диференціальних підсилювачів, керованих атенуаторів на $p-i-n$ діодах типу КА517. Вихідні напруги на кожній частоті не менше 0,1 В, рівень бічних складових у спектрі вихідних сигналів не менше -23 дБ.

Величина зазору між поверхнею п'єзоелектричного звукопроводу та рухомих приймачем ПАХ встановлювалась за допомогою індикатора 1МИГ з ціною поділки 1 мкм. Переміщення приймача ПАХ вздовж звукопроводу здійснювалось за допомогою мікрометричного гвинта та контролювалось індикатором 1 МИГ у ВП лінійних переміщень та автоколіматором АК-0,2У з ціною поділки секундної шкали в кутовому полі 0,2 кут.сек. і ціною поділки грубої шкали 10 кут. сек. при діапазоні вимірювання 600 кут.сек.

Для вимірювання фази вихідних сигналів рухомого приймача ПАХ на робочих частотах використано фазометри Ф5126, роздільна здатність яких складає 0,1 ел.град. при основній похибці вимірювання $\pm 0,3$ ел.град.

Вихідні сигнали рухомого приймача ПАХ і опорні сигнали з генераторного блоку з частотами $f_{1,2,3}$ поступають на цифрові фазометри Ф5126 для вимірювання фазових зсувів ψ_1, ψ_2, ψ_3 , по яким здійснюється формування точної шкали (ψ_1), проміжних

шкал ($\psi_{12} = \psi_1 - \psi_2$) та ($\psi_{13} = \psi_1 - \psi_3$) та грубої вимірювальної шкали ($\psi_{123} = \psi_{12} - \psi_{13}$) ВП на ПАХ лінійних та кутових переміщень.

Вимірювання проводилося на окремих ділянках діапазонів: лінійних переміщень $Z = 0...50$ мм; кутових переміщень $\varphi = 0...360$ кут.град. Отримані графіки вимірювання фази та їх різниць для окремої ділянки зображено на рис.4.

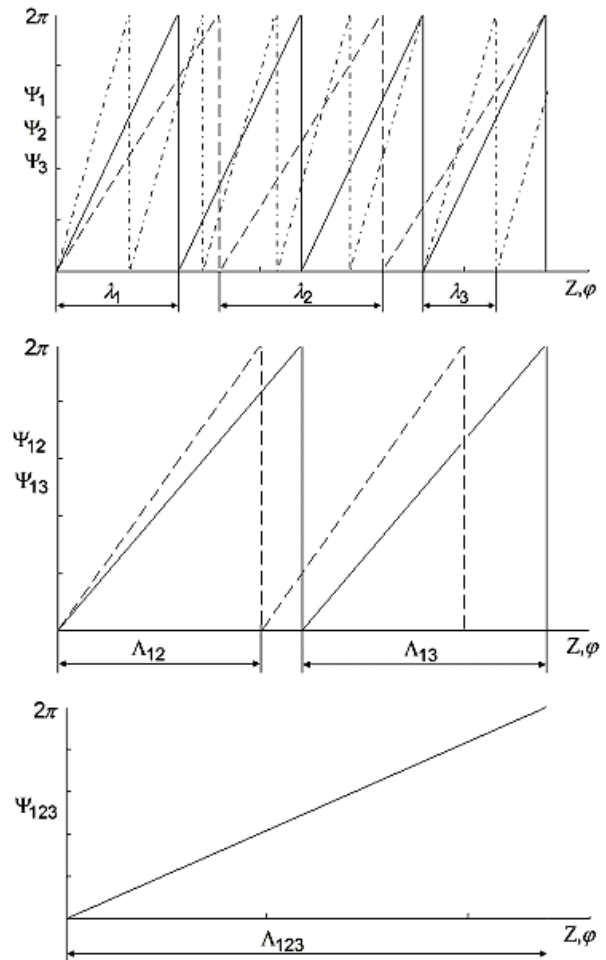


Рис. 4 – Типові фазові характеристики 3-х частотного ВП на ПАХ лінійних та кутових переміщень

Градувальні характеристики на кожній частоті мають лінійний характер в інтервалах $Z = 0...50$ мм та $\varphi = 0...360$ кут.град. з просторовими періодами, що дорівнюють довжинам ПАХ $\lambda_{1,2,3}$.

Результати оцінки метрологічних параметрів експериментальних вимірювальних перетворювачів лінійних та кутових переміщень з рухомих приймачем ПАХ на точній шкалі приведено в табл. 1. Причому довіряча вірогідність результатів оцінки метрологічних параметрів не менше 0,95.

Таблиця 1 – Метрологічні параметри ВП при роботі на точній шкалі.

Найменування параметрів	Вимірювальний перетворювач		
	лінійних переміщень	кутових переміщень	
Матеріал звукопроводу (хвилеводу)	Ніобат літію $LiNbO_3$, YZ-зріз	Плівкова структура $ZnO - SiO_{2nl}$.	
Діапазон переміщень, Z , мм; φ , кут.град.	0...50	0...50	0...360
Коефіцієнт перетворення в границях однієї довжини хвилі, ел.град./мкм (ел.град./кут.сек): $S_1 = \bar{S}_1 \pm \delta_1$	$7,8 \pm 2 \%$	$7,8 \pm 2 \%$	$0,57 \pm 0,5 \%$
Основна похибка в границях однієї довжини ПАХ:	0,25	0,28	0,30
1. Найбільше значення основної приведенної похибки: $\gamma_{np,1}^{очн}$, %	0,75	0,83	0,52
2. Найбільше значення основної відносної похибки, що визначається за формулою: $\delta^{очн} = \pm \left[c + d \left(\frac{Z_{кр} n}{Z} - 1 \right) \right] \cdot 100\%$			
– c_1 , %	0,80	0,82	0,65
– d_1 , %	0,43	0,48	0,30
3. Найбільше значення приведенної нелінійності функції перетворення: $\gamma_{np,1}^H$, %	0,25	0,28	0,30
4. Найбільше значення приведенної варіації (гістерезису) вихідного сигналу: $\gamma_{np,1}^r$, %	0,35	0,40	0,35

Із системи метрологічних параметрів ВП випливає, що розроблені ПАХ-модулі забезпечують достатньо високу чутливість та роздільну здатність, яка обмежується метрологічними характеристиками приладів для вимірювання фази. Проблема підвищення чутливості та точності вимірювань лінійних та кутових переміщень полягає у вирішенні проблем вимірювання надмалого значення фазового зсуву ψ_1 , який відповідає за точну шкалу. Для прецизійного вимірювання фазового зсуву рекомендується використати переваги методу синхронно-фазового детектування прийнявши за опорний сигнал f_0 , який відрізняється від сигналу f_1 не більше ніж на $\Delta f / f_0 = \pm 0,28\%$. Це дозволяє на виході отримати сигнал прямо пропорційний фазовому зсуву ψ_1 :

$$U_{опорний} = U_1 \sin(2\pi f_1 t),$$

$$U_{сигналу} = U_2 = B \sin(2\pi f_1 t + \psi),$$

$$U_{вих} = C \sin \psi, \quad \psi = [-\pi / 6; \pi / 6];$$

де A, B, C – масштабні коефіцієнти сигналу [12,13].

На виході фазочутливого детектора постійна напруга виникає в результаті детектування корисного сигналу протягом сталої вимірювання τ . При постійній спектральній щільності шумів S_0 в межах Δf відношення сигнал/шум SNR описується залежністю [13]:

$$SNR = 20 \lg \frac{U_{вих} \sqrt{\tau}}{2\sqrt{S_0}}.$$

Відношення сигнал/шум при найшвидшій реєстрації корисного сигналу на фоні адитивного білого гаусівського шуму складає $SNR = 16$ дБ. У випадку, коли необхідно вимірювати лінійні та кутові переміщення, які відповідають фазовим зсувам $10^{-5} \div 10^{-6}$ радіан, необхідно підібрати оптимальні параметри

вимірювальної системи в залежності від вимог до швидкості вимірювань [13].

Висновки. Методика вимірювання лінійних та кутових переміщень дозволяє проводити вимірювання на грубій, проміжній та точній шкалі. Остання розглянута більш детально, оскільки представляє собою особливу цінність в системах точного позиціонування. Описаний підхід вимірювання фазового зсуву між опорним та зсунутим на кут ψ_1 сигналами дозволяє збільшити точність вимірювання на 4-5 порядків за рахунок оптимального підбору параметрів вимірювальних засобів.

Детальний розгляд метрологічних параметрів, методики їх розрахунку, взаємні залежності між складовими похибок вимірювань будуть розглянуті в Ч. 2

Список літератури: 1. Поляков, П. Ф. Акустоэлектроника. Физико-технологические основы и применение [Текст]: Справ. пособие: В 2 т. / П. Ф. Поляков, В. А. Хорунжий, В. П. Поляков // Под общ. ред. проф. П. Ф. Полякова. – Харьков: ООО «Компания СМІТ», 2007. – Том 1. – 552 с. 2. Жовнір, М. Ф. Фізико-технічні основи побудови вимірювального перетворювача мікропереміщень на поверхневих акустичних хвилях [Текст] / М. Ф. Жовнір, М. Г. Черняк, А. А. Дідківський, С. С. Наушенко, В. М. Дейнеко // Електроніка і зв'язь. – 2004. – № 23. – С. 5–8. 3. Жовнір, М. Ф. Вимірювальні перетворювачі фізичних величин на поверхневих акустичних хвилях [Текст] / М. Ф. Жовнір, М. Г. Черняк, Д. В. Черненко, Л. М. Шеремет // Електроніка і зв'язь. – 2011. – № 60. – С. 153–157. 4. Chernenko, D. Wireless Passive Sensor Using Frequency Coded SAW Structures [Text] / D. Chernenko, M. Zhovnir, O. Oliinyk, V. Tsyganok // 35th International Spring Seminar on Electronics Technology „Power Electronics” (ISSE 2012). – Bad Aussee (Austria). – 2012. – P. 424 – 428. 5. Черненко, Д. В. Вимірювальні перетворювачі тиску на основі збурення електричного поля поверхневих акустичних хвиль [Текст] / Д. В. Черненко, О. М. Кузьменко, М. Ф. Жовнір // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2013. – № 78. – С. 62–66. 6. Zhovnir, M. Radio SAW-Sensors for Physical Parameters Measurement [Text] / M. Zhovnir, O. Kuzmenko, S. Pokutnyi // Journal of Applied Chemistry. – 2015. – 3(1). – P. 7–13. 7. Жовнір, Н. Ф. Измерительный преобразователь перемещений на основе использования фазовых набегов ПАВ [Текст] / Н. Ф. Жовнір // Сборник докладов Международной науч.-

техн.конф. «Проблемы физической и биомедицинской электроники», г. Киев, 27–30 мая 1996. – С. 279–283. **8.** Жовнір, М. Ф. Оцінка потенційних роздільної здатності і точності вимірювальних перетворювачів лінійних та кутових переміщень на базі використання фазових набігань поверхневих акустичних хвиль [Текст] / М. Ф. Жовнір, О. В. Шостак // Електроніка та зв'язь. – 2015. – Том 20, № 3(86). – С. 101–106. **9.** Морозов, А. И. Пьезоэлектрические преобразователи для радиоэлектронных устройств [Текст] / А. И. Морозов, В. В. Проклов, Б. А. Станковський. – М.: Радио и связь, 1981. – 184 с. **10.** Шермегор, Т. Д. Пленочные пьезоэлектрики [Текст] / Т. Д. Шермегор, Н. Н. Стрельцова. – М.: Радио и связь, 1986. – 136 с. **11.** Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] : Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с. **12.** Перекрестов, І. С. Застосування методу компенсації фазового зсуву при синхронному детектуванні сигналів цифрових видів модуляції [Текст] / І. С. Перекрестов, П. В. Іващенко // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2009. – № 2. – С 54–62. **13.** Матяш, І. Є. Детектування індукованим тепловим потоком напружень в твердому тілі за допомогою фотопружного мікроскопу [Текст] / І. Є. Матяш, І. А. Мінайлова, О. М. Мішук, О. О. Олійник, Б. К. Сердега, Б. А. Циганок // Електроніка та зв'язь. – 2014. – №2(79). – С. 9–22.

Bibliography (transliterated): **1.** Polyakov, P., Xorunzhyy, V., Polyakov, V. (2007). Akustoelektronika. Fiziko-tekhnologicheskie osnovy i primeneniye: Sprav. posobyе (2nd ed., Vol. 1, 552). Xarkiv: Kompaniya SMYT. **2.** Zhovnir, M., Chernyak, M., Didkivskiy, A., Naushenko, S., Dejneko, V. (2004). Fyzyko-tekhnichni osnovy pobudovy vymiryuvalnogo peretvoryuvacha mikroperemishhen na poverknevyyh akustychnyh hvulyakh. Electronics and Communications, 23, 5–8. **3.** Zhovnir, M., Chernyak, M., Chernenko, D., Sheremet, L. (2011). Vymiryuvalni

peretvoryuvachi fizychnyyh velychyn na poverknevyyh akustychnyh hvulyakh. Electronics and Communications, 1(60), 153–157. **4.** Chernenko, D., Zhovnir, M., Tsyganok, B., Oliinyk, O. (2012). Wireless passive pressure sensor using frequency coded SAW structures. 35th International Spring Seminar on Electronics Technology „Power Electronics“, 424–428. doi:10.1109/ISSE.2012.6273174 **5.** Chernenko, D., Kuzmenko, O., Zhovnir, M. (2013). Vymiryuvalni peretvoryuvachi tysku na osnovi zburennya elektrychnogo polya poverknevyyh akustychnyh hvyl. Visnyk Kremenchukskogo Nacionalnogo Universytetu Imeni Mykhajla Ostrogradskogo, 62–66. **6.** Zhovnir, M., Kuzmenko, O., Pokutnyi, C. (2015). Radio SAW-Sensors for Physical Parameters Measurement. Journal of Applied Chemistry, 3(1), 7–13. **7.** Zhovnir, M. (1996). Proceedings from Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauch.-texn.konf.: Problemy fizicheskoy biyomedycynskoj elektroniki. Kyiv: Ukraine, 279–283. **8.** Zhovnir, M., Shostak, O. (2015). Ocinka potencijnykh rozdilnoyi zdadnosti i tochnosti vymiryuvalnykh peretvoryuvachiv linijnykh ta kutovykh peremishchen na bazi vykorystannya fazovykh nabigan poverknevyyh akustychnyh hvyl. Electronics and Communications, 101–106. **9.** Morozov, A., Proklov, V., Stankovsky, B. (1981). Pezoelektrycheskye preobrazovateli dlya radioelektronnykh ustrojstv. Moscow: Radio i svyaz, 184 **10.** Shermegor, T., Strelczova, N. (1986). Plenochnye pezoelektriki. Moscow: Radio i svyaz, 136. **11.** Gonorovsky, Y. (1986). Radiotekhnicheskie tsepi i signaly: Uchebnik dlya vuzov (4th ed.). Moscow: Radio i svyaz, 512. **12.** Perekrestov, I., Ivashhenko, P. (2009). Zastosuvannya metodu kompensacii fazovogo zsuvu pry synhronnomu detektuvanni signaliv cyfrovyyh vydiv modulyciyi. Naukovi Praci ONAZ Im. O.S. Popova, 2, 54–62. **13.** Matyash, I., Minailova, I., Mishhuk, O., Oliinyk, O., Serdega, B., Tsyganok, B. (2014). Detektuvannya indukovanym teplovym potokom napruzhen v tverdomu tili za dopomogoyu fotoprzhnogo mikroskopu. Electronics and Communications, 2(79), 9–22.

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Жовнір Микола Федорович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра Електронних приладів та пристроїв, факультет електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; вул. Політехнічна, 16, корпус №12. Київ, Україна, 03056.

Олійник Остап Олегович – аспірант, кафедра Електронних приладів та пристроїв, факультет електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; вул. Політехнічна, 16, корпус №12. Київ, Україна, 03056; тел.: 066-310-36-20; e-mail: ostap.oliinyk@gmail.com.

Жовнір Николай Федорович – кандидат технических наук, доцент, кафедра Электронных приборов и устройств, факультет электроники, Национальный технический университет Украины «КПИ»; ул. Политехническая, 16, корпус №12. Киев, Украина, 03056.

Олейник Остап Олегович – аспирант, кафедра Электронных приборов и устройств, факультет электроники, Национальный технический университет Украины «КПИ»; ул. Политехническая, 16, корпус №12. Киев, Украина, 03056; тел.: 066-310-36-20; e-mail: ostap.oliinyk@gmail.com.

Zhovnir Nikolai – candidate of technical sciences, associate professor, Department of Electronic Devices and Equipment, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"; 16 Polytechnique str, Kyiv, Ukraine, 03056.

Oliinyk Ostap – PhD student, Department of Electronic Devices and Equipment, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "KPI"; 16 Polytechnique str, Kyiv, Ukraine, 03056; tel.: 066-310-36-20; e-mail: ostap.oliinyk@gmail.com.

УДК 004.93'11

О. В. ПРОХОРЧУК, І. О. КУЧЕРЯВЕНКО

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ДЛЯ ПОБУДОВИ НАВІГАЦІЙНИХ КАРТ ГЕОФІЗИЧНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Розглядається порівняння існуючих методів інтерполяції для побудови еталонних навігаційних карт геофізичних полів Землі з метою знаходження оптимального. Для порівняння методів використовуються їх математичні моделі, моделювання відбувається за допомогою середовища MathLab, на основі якого формуються висновки оптимальності методу, спираючись на критерії оптимальності. Також розглядається модифікація отриманого оптимального методу з метою покращення його кількісних характеристик. Результати можуть бути використані для побудови кореляційно – екстремальних навігаційних систем, які працюють за геофізичними полями Землі.

Ключові слова: навігаційні системи, геофізичне поле Землі, побудова еталонних карт, методи інтерполяції.

© О. В. Прохорчук, І. О. Кучерявенко. 2015

Вступ. Питання інформаційного та алгоритмічного забезпечення геофізичних навігаційних систем є визначальним у розвитку даних систем. Якщо розробка теорії даних систем знаходиться на досить високому рівні і дозволяє синтезувати широкий клас практичних алгоритмів, то інформаційне забезпечення систем даного класу слід визнати недостатнім, а отже і основним стримуючим фактором на шляху широкого впровадження принципів геофізичної навігації в бортових комплексах літальних апаратів. Серед основних проблем розробки таких систем є проблема вирішення задачі створення еталонних карт, необхідних для роботи систем даного класу, на основі вимірних дискретних значень геофізичного поля. Одним із шляхів для вирішення цієї задачі є застосування різних методів інтерполяції [1, 5, 9, 10]. Вибір методу інтерполяції безпосередньо впливає на точності характеристики усієї геофізичної системи.

Розглянемо задачу вибору оптимального методу інтерполяції для побудови еталонних карт геофізичного поля та можливого шляху покращення вже існуючих методів.

Існуючі методи інтерполяції. Для забезпечення безперервного постачання даних для геофізичної навігаційної системи необхідно забезпечити заповнення відсутніх, проміжних значень величини за наявним дискретному набору відомих значень геофізичного поля. Перехід від вихідних дискретних даних до інтерпольованих, особливо, у разі нерегулярних рідких мереж, призводить до серйозних помилок в інтерпретації [1].

В останнє десятиліття багато вітчизняних та іноземних дослідників в своїх роботах пропонують різні методи інтерполяції для творення різних видів карт з дискретного масиву чисел [1, 4, 5, 9]. Так в роботі [5] для аналізу великих масивів даних рекомендують метод зворотних відстаней, для аналізу невеликих масивів - методи крікінга і радіальних базисних функцій. В роботі [2], присвяченій дослідженню питання про побудову карт висотного поля найбільш задовільним вважають метод природного сусіда. В роботі [4] застосовували методи інтерполяції аналізувалися при вивченні рельєфу, але однозначно, жоден з них не був обраний в якості рекомендованого.

Пошук оптимального методу інтерполяції для побудови еталонної навігаційної карти геофізичного поля. Для пошуку оптимального методу побудови навігаційних карт були використані дані магнітної зйомки, отримані в липні 2012 р в природничому парку "Великий Луг" (Запорізька область) [10]. Для візуалізації масив даних був співвіднесений з координатами зняття показань і нанесений на ділянку, на якій проводилися дослідження (рис. 1)

Для вибору оптимального методу були обрані три критерії: візуальна стійкість на модельних прикладах при зменшенні; апіорної інформації; швидкодії методів; оцінка середньої квадратичної помилки методів.

Для перевірки візуальної стійкості даних алгоритмів використовувалася квадратна регулярна сітка ізометричного поля.

Результати моделювання демонструють, що при значному обсязі даних карти, побудовані різними методами, візуально не відрізняються одна від одної (рис. 1). При зменшенні апіорної інформації при використанні методу зворотних відстаней, виникають псевдоаномалії; в методі мінімальної кривизни в кутах мережі виникають градієнтні зони, а методи природного сусіда і триангуляції будують спотворені зображення (рис. 2, 3). Найбільш стійкими у всіх трьох моделях візуально є карти, побудовані методами крікінга, Шепарда і радіальних базисних функцій.

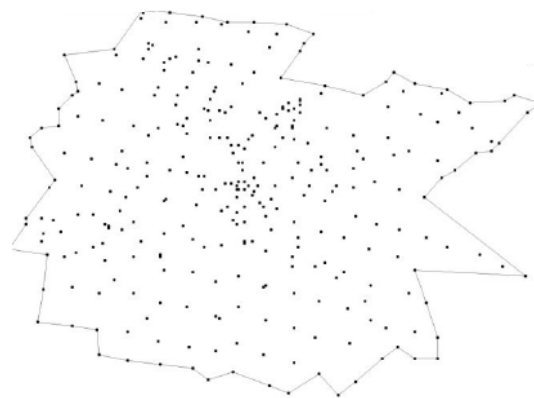


Рис. 1 – Точки вимірювань магнітної індукції на території природного парку "Великий Луг"

Для оцінки швидкодії вищевказаних методів інтерполяції були побудовані карти на основі показів індукції магнітного поля на території парку "Великий Луг". Результати моделювання показані на рис. 4. Проведений аналіз швидкодії різних методів інтерполяції показав, що метод триангуляції є самим швидким. Результати показані в табл. 1.

Таблиця 1 – Час побудови інтерполяційних карт

Використаний метод	Час роботи
Метод зворотних відстаней	0,31 с
Метод крікінга	1,6 с
Метод мінімальної кривизни	0,07 с
Метод Шепарда	0,03 с
Метод природного сусіда	0,15 с
Метод радіальних базисних функцій	1,83 с
Метод триангуляції	0,01 с

Наступними за швидкістю є метод Шепарда і метод мінімальної кривизни.

Таким чином, з методів, обраних за першим критерієм, найбільш оптимальними за швидкістю є метод Шепарда.

На кінцевому етапі методи порівнювалися за величиною середньої квадратичної помилки. Для цього використовувалися дані, отримані на опорному профілі вимірювань (рис. 5). Отримані на них значення індукції магнітного поля порівнювалися зі значеннями в тих же точках знятих з карт, отриманих різними способами інтерполяції.

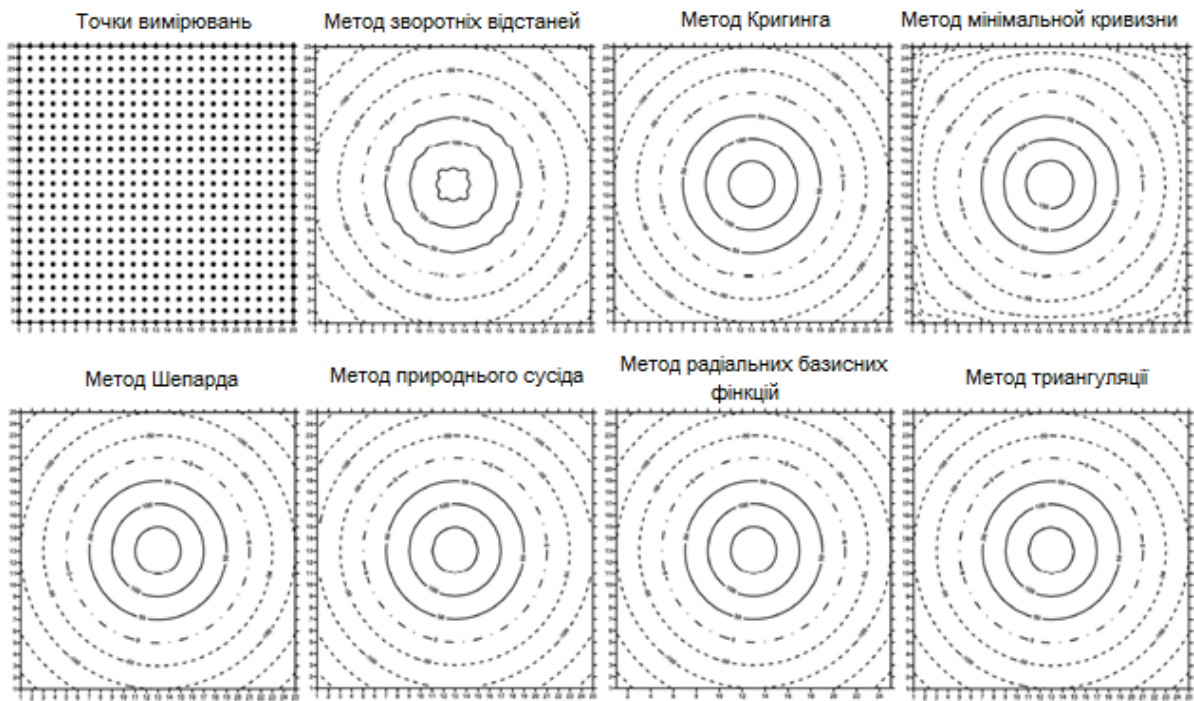


Рис. 2 – Карти ізометричного поля, 625 точок вимірювань

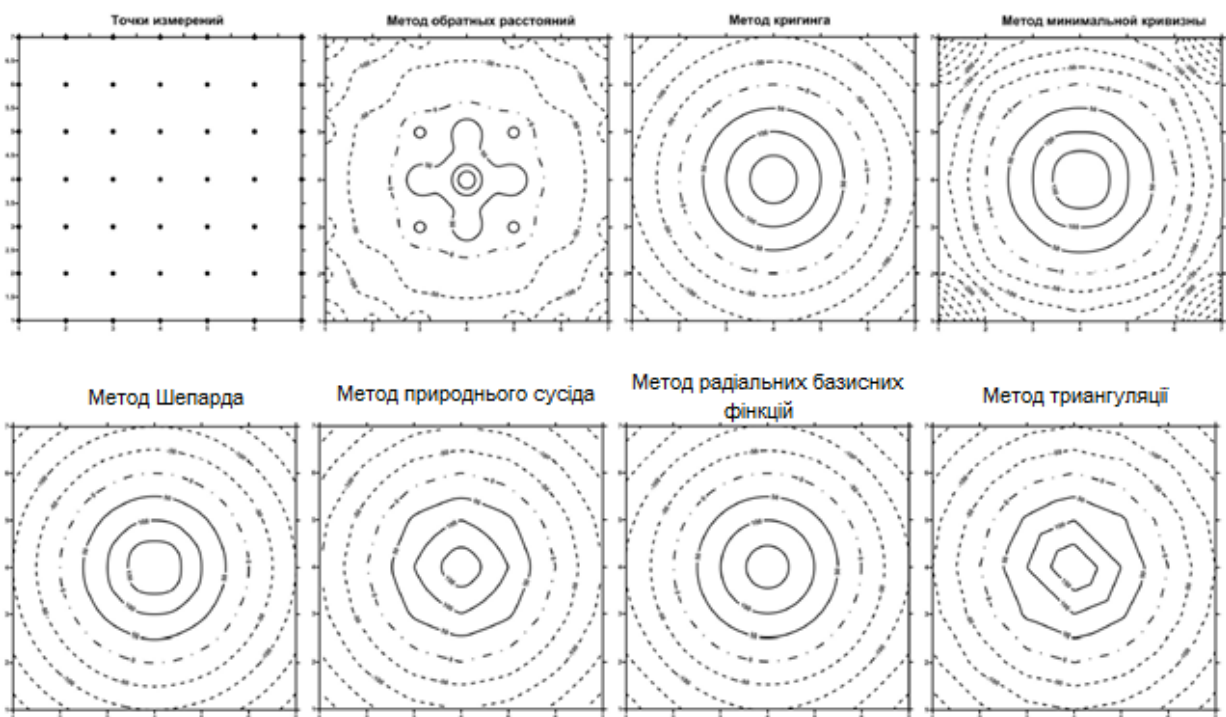


Рис. 3 – Карти ізометричного поля, 49 точок вимірювань

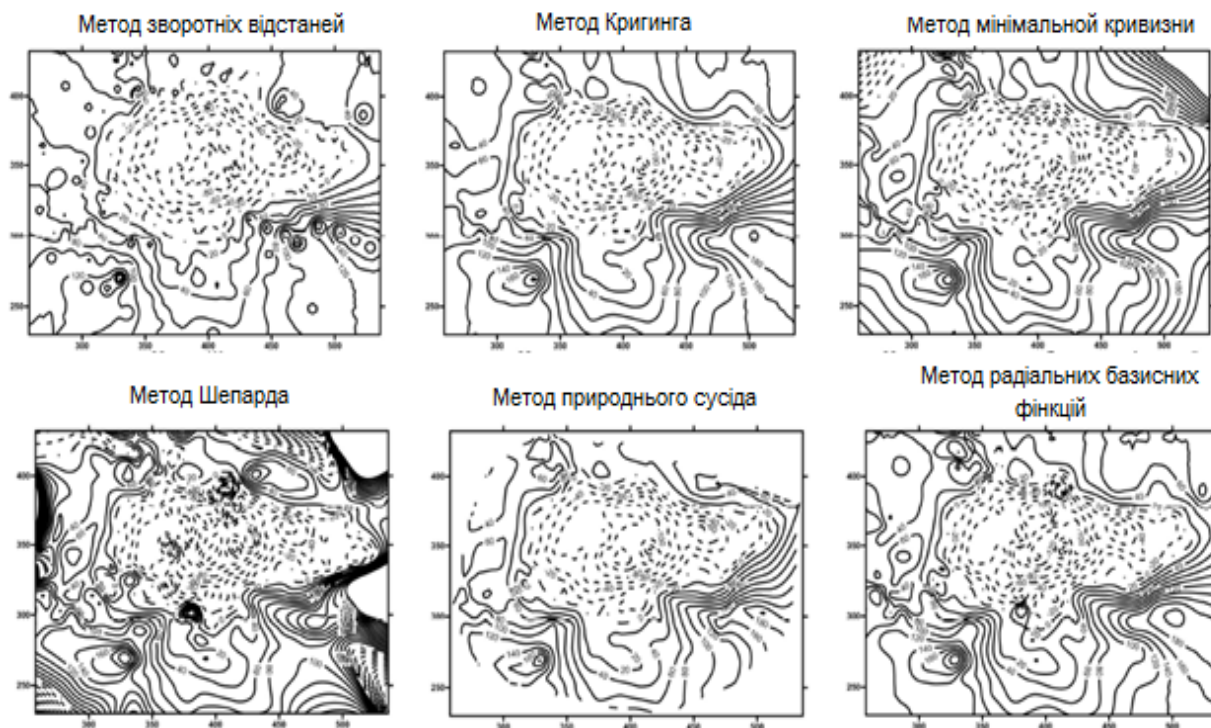


Рис. 4 – Карты магнітного поля національного парку "Великий Луг", побудовані різними способами інтерполяції

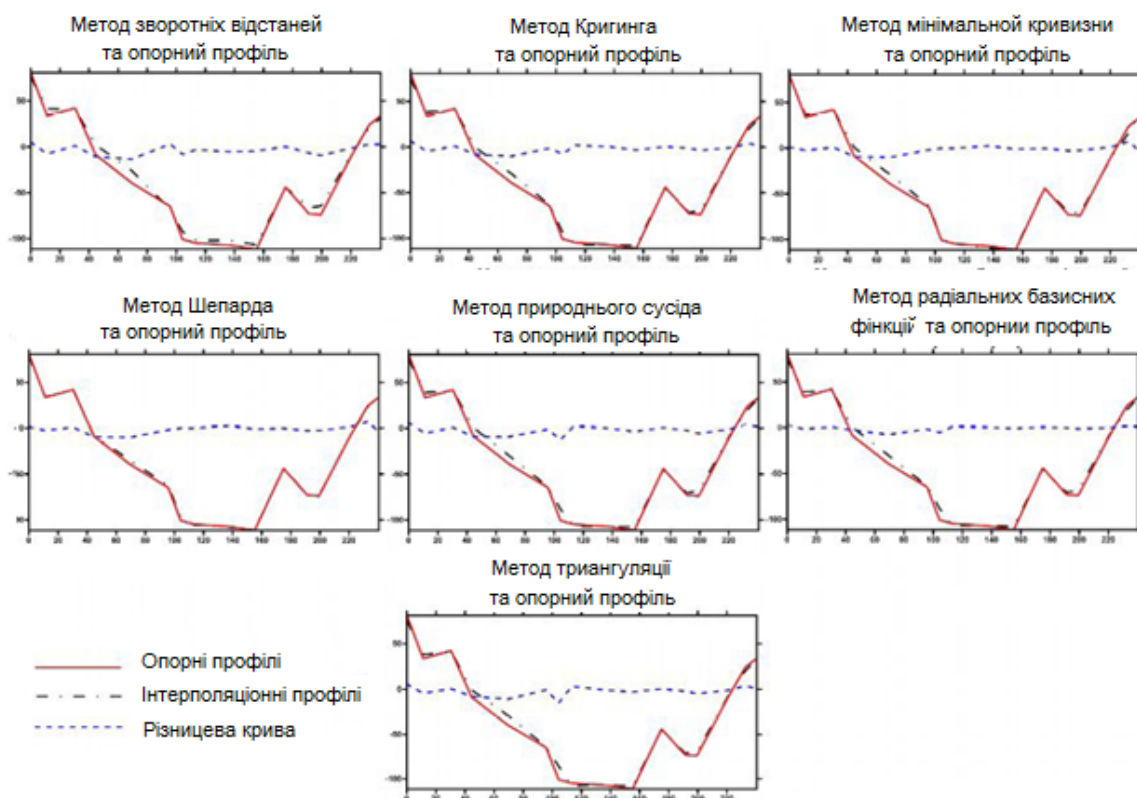


Рис. 5 – Графіки значень магнітного поля, побудовані за вихідними даними і за значеннями знятим з карт, побудованих різними методами інтерполяції

Аналіз показав, що найменша середня квадратична помилка досягається при використанні карт, побудованих методами Шепарда і радіальних базисних функцій. Найбільш помітно відхилення в екстремаль-

них точках, і, відповідно, чим більше інтенсивність аномалії, тим більше стає і це відхилення. Значення отриманої середньоквадратичної помилки представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Середньоквадратичні помилки методів інтерполяції

Метод інтерполяції	Середньоквадратична помилка
Метод зворотних відстаней	4,57
Метод Кригинга	3,28
Метод мінімальної кривизни	3,01
Метод Шепарда	1,27
Метод природнього сусіда	3,81
Метод радіальних базисних функцій	1,87
Метод триангуляції	4,02

У результаті дослідження можна зробити висновок про те, що найбільш оптимальним за трьома обраними критеріями є метод Шепарда.

Модифікований метод Шепарда. Для роботи геофізичної навігаційної системи потрібний якомога кращі показники швидкодії, стійкості та точності інтерполяційного методу. Далі пропонується один із можливих шляхів покращення методу Шепарда, який був розроблений в процесі дослідження.

При роботі алгоритму Шепарда в якості оцінки змінної Z в деякій точці досліджуваної області цей метод використовує середнє зважене значень змінної Z у вибіркових точках:

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n w_{i0} \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n w_{i0}} \quad (1)$$

Метод працює в припущенні, що експериментальні значення, виміряні близько від інтерпольованої місця розташування, надають більший вплив на результат оцінки, ніж віддалені від нього на значну відстань. Отже, точки вибірки, розташовані ближче всього до точки, де робиться оцінка, повинні мати більшу вагу; вага вибіркових точок повинен зменшуватися зі збільшенням відстані від інтерпольованої розташування. Такі ваги для даного методу задаються наступним чином:

$$w_{i0} = \frac{1}{(\sqrt{d_{i0}} + \delta^2)^\beta}, \quad (2)$$

де d_{i0} – відстань між точкою (X_0, Y_0) , де підраховується оцінка (наприклад, вузлом регулярної сітки), і i -ою точкою виміру; δ – параметр згладжування; β – степений параметр.

Степений параметр β визначає, як швидко буде зменшуватися вага зі збільшенням відстані. Якщо значення β надто велике, то на інтерполяцію вплинуть тільки вибрані точки, розташовані в безпосередній близькості. Для менших β вагові коефіцієнти будуть розподілені більш рівномірно між сусідніми точками даних.

Для підвищення швидкодії роботи алгоритму і зменшення середньої квадратичної помилки алгоритм

Шепарда був інтегрований з алгоритмом найближчого сусіда, який в ході досліджень також показав високу швидкість роботи.

Інтерполяційна функція модифікованого алгоритму має вигляд:

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i \in K} w_{i0} \cdot Q_i(x)}{\sum_{i \in K} w_{i0}}, \quad K < N \quad (3)$$

$$w_i(x) = \left(\frac{R_x - |x - x_i|}{R_x} \right)^2, \quad (4)$$

$$R_x = \max |x - x_i|, i \in K$$

$$Q_i(x) = x^T A x + b^T x + c, \quad (5)$$

$$A \in R^{D \times D}, b \in R^D, c \in R$$

Модифікований метод Шепарда відрізняється від оригінального алгоритму тим, що:

1) для інтерполяції використовується підмножина точок K - множина найближчих сусідів точки x ;
 2) замість константних значень у зваженій сумі тепер беруть участь вузлові функції $Q_i(x)$. Ці функції можуть бути квадратичними, лінійними або константними (за вибором користувача). Функція $Q_i(x)$ виходить в результаті виваженої апроксимації по МНК безлічі K найближчих сусідів точки x_i з обмеженням $Q_i(x_i)$. Вагові коефіцієнти завдання МНК вибираються за формулою (7).

3) Для пошуку найближчих сусідів використовуються kd -дерева, що дозволяють знаходити найближчого сусіда за час $O(\log N)$.

Таблиця 3 – Результати роботи модифікованого методу Шепарда

Назва методу	Швидкодія	Середньоквадратична помилка
Модифікований метод Шепарда	0, 283с	1,19

Висновок. У статті вперше виконано моделювання роботи найбільш поширених інтерполяційних методів для визначення серед них оптимального, виходячи з критеріїв швидкодії, стійкості в умовах нестачі вихідних даних та середньоквадратичної помилки інтерполяції дискретних значень геофізичного поля. За вказаними критеріями, оптимальним методом інтерполяції був обраний метод Шепарда. Модифікація методу Шепарда, яка була розроблена шляхом накладання обмежень на вибір найближчих точок та їх структурування в kd -дерево, дозволяє отримати верхню межу швидкості пошуку $O(n \log n)$, що є край необхідним для вирішення завдання побудови карти геофізичного поля на борту ЛА.

Список літератури: 1. Блох, Ю. И. Геофизические исследования магнитных залежей (Курильская островная дуга) [Текст] / Ю. И. Блох, В. И. Бондаренко, А. С. Долгаль, П. Н. Новикова, В. А. Рашидов, А. А. Трусов // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 38-й сессии Международного научного семинара имени Д.Г. Успенского. Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. – С. 32–35. 2. Долгаль, А. С. Повышение точности

определения поправок за влияние рельефа при гравиметрической съемке [Текст] / А. С. Долгал, С. Г. Бычков, В. В. Антипин // Геофизика, 2003. – №6. – С. 44–50. **3. Зелвянская, О. Е.** Влияние объема информации на качество графического представления материалов [Текст] / О. Е. Зелвянская, О. В. Чуприна // Сборник научных трудов. Серия «Нефть и газ», Ставрополь: Изд-во Северо-Кавказского технического университета, 2002. – Вып 2. – С. 45–49. **4. Логачев, А. А.** Магниторазведка, навигация по магнитным ориентирам [Текст] / А. А. Логачев, В. П. Захаров. – Л.: Недра, 1979. – 351 с. **5. Масуренков, Ю. П.** Геодинамика [Текст] / Ю. П. Масуренков, Л. А. Комкова. – М.: Наука, 1978. – 274 с. **6. Kowalczyk, K.** Analysis of vertical movements modeling through various interpolation techniques [Text] / K. Kowalczyk, J. Rapinski, M. Mroz // Acta Geodyn. Geomater. – 2010. – Vol. 7, No. 4 (160). – P. 399–409. **7. Nikolova, N.** Mapping precipitation variability using different interpolation methods [Text] / N. Nikolova, S. Vassilev // Conferens on Water Observation System and Decision Support. 2006. (http://balwois.mpl.ird.fr/balwois/administration/full_paper/ffp-631.pdf). **8. Ren, H.** “Research on geomagnetic matching localization algorithm for unmanned underwater vehicles,” [Text] / H. Ren, K. Zhuang, et al. // Proceeding of IEEE International Conference on Information and Automation. – 2008. – P. 1025–1029. **9. Yang, C.-S.** Twelve different interpolation methods: [Text] / C.-S. Yang, S.-P. Kao, F.-B. Lee, P.-S. Hung // A case study of Surfer 8.0. XXth ISPRS Congress 1. **10. Yang, G.** “Data fusing algorithm in geomagnetic aided INS,” [Text] / G. Yang // Journal of Chinese Inertial Technology. – 2007. – Vol. 15. – P. 47–51.

Bibliography (transliterated): 1. Blox, Yu. I., Bondarenko, V. I., Dolgal, A. S., Novikova, P. N., Rashidov, V. A., Trusov, A. A. (2011).

Geofizicheskie issledovaniya magnitnykh zalezhej (Kuril'skaya ostrovnaya duga). Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii geofizicheskix polej: materialy 38-j sessii Mezhdunarodnogo nauchnogo seminara imeni D. G. Uspenskogo. Perm: GI UrO RAN, 32–35. **2. Dolgal, A. S., Bychkov, S. G., Antipin, V. V.** (2003). Povyshenie tochnosti opredeleniya popravok za vliyaniye relefa pri gravimetricheskoy semke. Geofizika, No6, 44–50. **3. Zelivyanskaya, O. E., Chuprina, O. V.** (2002). Vliyaniye obema informatsii na kachestvo graficheskogo predstavleniya materialov. Sbornik nauchnykh trudov. Seriya «Nef't i gaz», Stavropol: Izd-vo Severo-Kavkazskogo tekhnicheskogo universiteta, Vol. 2, 45–49. **4. Logachev, A. A., Zaxarov, V. P.** (1979). Magnitorazvedka, navigatsiya po magnitnym orientiram. Lenengrad: Nedra, 351. **5. Masurenkov, Yu. P., Komkova, L. A.** (1978). Geodinamika. Moscow: Nauka, 274. **6. Kowalczyk, K., Rapinski, J., Mroz, M.** (2010). Analysis of vertical movements modeling through various interpolation techniques. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 7, No. 4 (160), 399–409. **7. Nikolova, N., Vassilev, S.** (2006). Mapping precipitation variability using different interpolation methods. Conferens on Water Observation System and Decision Support. (http://balwois.mpl.ird.fr/balwois/administration/full_paper/ffp-631.pdf). **8. Ren, H., Zhuang, K., et al.** (2008). “Research on geomagnetic matching localization algorithm for unmanned underwater vehicles,” Proceeding of IEEE International Conference on Information and Automation, 1025–1029. **9. Yang, C.-S., Kao, S.-P., Lee, F.-B., Hung, P.-S.** Twelve different interpolation methods: A case study of Surfer 8.0. XXth ISPRS Congress 1. **10. Yang, G.** (2007). “Data fusing algorithm in geomagnetic aided INS,” Journal of Chinese Inertial Technology, Vol. 15, 47–51.

Надійшла (received) 12.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прохорчук Олександр Віталійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет»; кафедра приладів та систем керування літальними апаратами, пр. Перемоги, 7, м. Київ, Україна, 03056.

Прохорчук Александр Витальевич – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет»; кафедра приборів та систем управління летальними апаратами факультет авіаційних та космічних систем, пр. Перемоги, 7, г. Київ, Україна, 03056.

Prohorchuk Aleksandr Vitalyevich – Ph.D., National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic University"; Department of aircraft control Devices and Systems, Department of Aviation and Space Systems, , Victory str. 7, Kyiv, Ukraine, 03056.

Кучерявенко Іван Олегович – магістр, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет»; кафедра приладів та систем керування літальними апаратами, факультет авіаційних та космічних систем, пр. Перемоги, 7, м. Київ, Україна, 03056.

Кучерявенко Иван Олегович – магістр, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет»; кафедра приборів та систем управління летальними апаратами, факультет авіаційних та космічних систем, пр. Перемоги, 7, г. Київ, Україна, 03056.

Kucheryavenko Ivan Olegovich – MPH, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic University"; Department of aircraft control Devices and Systems, Department of Aviation and Space Systems, Victory str. 7, Kyiv, Ukraine, 03056.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 621.9.048

А. В. РОМАНЧЕНКО

ВЫБОР СИСТЕМЫ синхронизации электропривода длинномерных вибрати- онных станков

В статье проанализированы функциональные и конструктивные особенности систем синхронизации вибрационных станков предназначенных для обработки деталей длинномерного типа. На основе анализа информационных источников установлено, что целесообразно применение систем синхронизации без механической связи между электроприводами. Выбрана система синхронизации электроприводов по схеме электрического вала со вспомогательными асинхронными машинами одного длинномерного или нескольких контейнеров вибрационно-го станка. Характеристиками выбранной системы аналогичны характеристикам механической системы синхронизации.

Ключевые слова: электропривод, вибрационный станок, контейнер, система синхронизации, электрический вал, деталь, вибровозбудитель, асинхронные машины, ротор, статор.

Введение. По сравнению со «сложными» металлообрабатывающими станками, вибрационные станки являются устройствами с кажущейся простотой. На рис. 1 представлены схемы наиболее распространенных вибрационных станков с U-образными контейнерами, основные узлы станков – каркас, электромеханический привод, электродвигатель, вибровозбудитель, контейнер, пружинная подвеска [Ошибка! Источник ссылки не найден., 0].

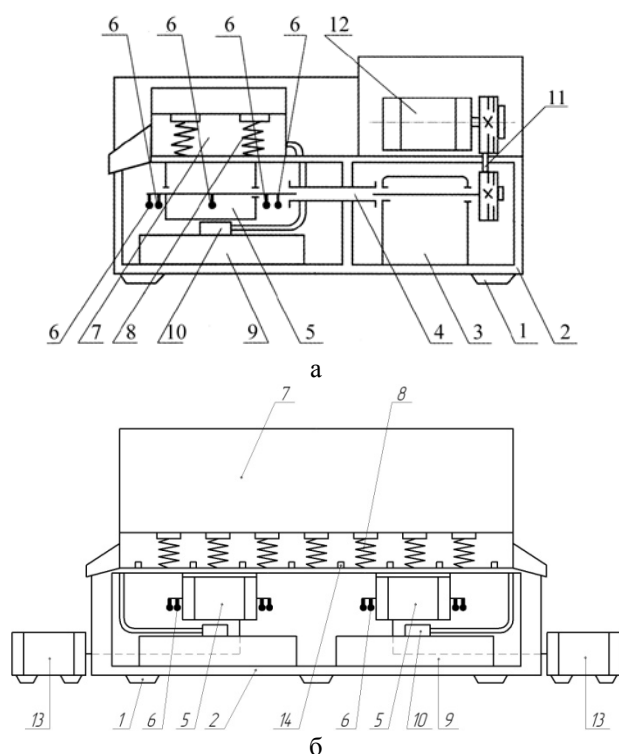


Рис. 1 – Принципиальные схемы вибрационных станков: а – с одним вибровозбудителем, б – с синхронизированными вибровозбудителями: 1 – амортизаторы; 2 – каркас; 3 – электромеханический привод; 4 – гибкая муфта; 5 – вибровозбудитель; 6 – дебалансные грузы; 7 – контейнер; 8 – пружинная подвеска; 9 – отстойник; 10 – электромагнитный клапан; 11 – клиноременная передача; 12 – электродвигатель; 13 – вспомогательная асинхронная машина; 14 – магнитомодуляционный датчик

Длительное время, пока не стояла проблема обработки длинномерных деталей, не стояла и задача синтеза оптимальных вибрационных станков с выбором приводного двигателя и расчета его необходимой мощности. Появление необходимости обработки длинномерных деталей также поставило перед виброобработчиками задачу обеспечения жесткости длинномерных контейнеров.

Под длинномерной деталью понимается деталь, один линейный размер которой значительно превышает поперечные размеры. К таким деталям относятся трубы, прутки, стержни и т.п. [0]. Вибрирующий контейнер для обработки длинномерных деталей, как правило, должен превышать длину 2 м или обладать несколькими контейнерами проходного типа, что создает проблему рационального способа создания вибрационного движения контейнера.

Вибрации контейнера возникают под действием инерционного вибровозбудителя с электроприводом. При длинномерном контейнере возникает проблема рационального размещения вибровозбудителей по длине контейнера и установления их числа.

Одним вибровозбудителем достаточно сложно сообщить контейнеру колебательные движения требуемой амплитуды, т.к. требуется вибровозбудитель большой мощности, соответственно рационально применять несколько синхронизированных вибровозбудителей.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Вибрационная обработка длинномерных деталей возможна при длине контейнера соответствующей длине деталей, например, труб. При этом соотношение площади сечения контейнера и квадрата его длины оценивается коэффициентом удлинения (1), который находится в пределах

$$k_{\sigma} = \frac{l^2}{S^2} = 4 \dots 16 \quad (1)$$

Практикой установлено, что при $k_{\sigma} > 4$ требуется увеличение жесткости контейнера, а, следовательно, и увеличение его массы, если в качестве электромеханического привода использовать один электродвигатель. Причем мощность электродвигателя возрастает прямо пропорционально коэффициенту k_{σ} .

В настоящее время представлены работы посвященные выбору электрического привода вибрацион

©А. В. Романченко. 2015
ного станка [0] и определению количества электроприводов необходимых для обеспечения требуемой амплитуды колебаний по всей длине контейнера [0].

Для равномерной обработки деталей на длинномерных вибрационных станках с несколькими вибро-возбудителями необходимо обеспечить их синхронную работу. Использовать несколько дебалансных механизмов по длине контейнера на одном валу крайне нежелательно, т.к. при передаче значительных вращающихся моментов и большей длине вала может возникнуть недопустимое скручивание вала. Поэтому взамен громоздкой механической передачи предлагается использовать систему, состоящую из нескольких электродвигателей с отдельными дебалансными механизмами, работающими синхронно, которую для простоты называют электрическим валом [0].

Помимо упрощения кинематической схемы механизма электрический вал дает возможность увеличить угловую скорость, т.к. снимаются ограничения, обусловленные механическим резонансом, кроме того, упрощается управление механизмом.

Цель и задачи исследования. Целью данной статьи является выбор системы синхронизации электроприводов вибрационного станка на основе анализа известных систем синхронизации без механической связи.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- провести анализ систем синхронизации электроприводов без механической связи;
- на основе проведенного анализа выявить достоинства и недостатки рассматриваемых систем синхронизации;
- выбрать систему синхронизации.

Материалы и методы исследования по выбору системы синхронизации электропривода длинномерных вибрационных станков. Системы синхронного вращения электрических двигателей принято [0] разделять на две основные группы:

1. Системы без вспомогательных машин.
 2. Системы со вспомогательными машинами.
- Системы первой группы делятся на два вида:
- а) асинхронные двигатели с общим реостатом;
 - б) асинхронные двигатели с преобразователями частоты.

Системы второй группы представлены двумя видами:

- а) системы с вспомогательными синхронными машинами;
- б) системы с вспомогательными асинхронными машинами.

Рассмотрим системы синхронного вращения с позиции их пригодности для синхронизации электропривода длинномерных вибрационных станков:

1. Система синхронного вращения асинхронных двигателей с общим реостатом. Нормальная работа электрического вала требует соблюдения следующих условий:

– сумма всех действующих в каждом элементе системы моментов должна быть равна нулю (2), т.е.

$$M_{o1} - M_{c1} + M_{e1,m1} = 0, \tag{2}$$

где M_{o1} – момент, развиваемый рабочим двигателем; M_{c1} – статический момент на валу рабочего двигателя; $M_{e1,m1}$ – уравнивающий момент.

– система должна быть статически устойчивой, т.е. при небольшом нарушении равновесия вращающиеся моменты после устранения возмущения должны вызвать замедление или ускорение привода, направленное к установлению равновесия;

– система должна быть динамически устойчива, т.е. отвечать известным критериям устойчивости [0], удовлетворять необходимым требованиям качества переходного процесса.

Система с реостатом, представленная на рис. 2., состоит из двух асинхронных электродвигателей. Статорные цепи двигателей присоединяются к общей сети переменного тока, а роторные включены параллельно на общий реостат.

Если угол $\theta = 0$, то токи, протекающие в роторах каждого двигателя, одинаковы.

При различных нагрузках на валах двигателей в роторной части, кроме рабочих токов, текущих из роторов в реостат, возникает уравнивающий ток, протекающий в роторной цепи, помимо реостата.

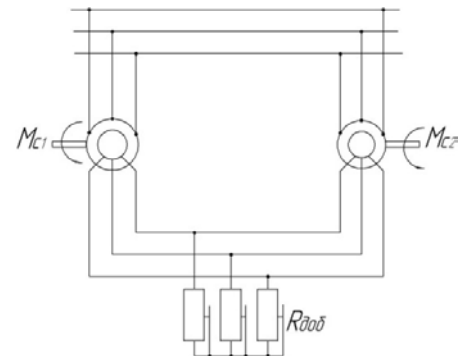


Рис. 2 - Принципиальная схема рабочего электрического вала с регулируемыми резисторами

В соответствии с этим можно рассматривать момент, развиваемый каждым двигателем, как сумму рабочего и уравнивающего моментов.

С увеличением угла рассогласования в известных пределах момент, развиваемый одним двигателем, становится больше развиваемого другим двигателем. При этом, чем больше скольжение в определенных пределах, тем больше моменты, развиваемые двигателями, и больше уравнивающий момент [0]:

$$M_{op} = M_2 - M_1 = M_k \frac{S'_k / S_k - S_k / S'_k}{S_k / S'_k + S'_k / S_k}, \tag{3}$$

где M_k, S_k – критический момент и критическое скольжение асинхронного двигателя в нормальном режиме;

$$S'_k = S_k \frac{R_2 - 2R_p}{R_2}, \tag{4}$$

где R_p – сопротивление фазы реостата; R_2 – сопротивление ротора.

В обычных условиях, когда оба двигателя преодолевают реактивный момент при одинаковых нагрузках, потоки энергии направлены от ротора каждого двигателя к общему реостату.

В случае различных нагрузок энергия, идущая от ротора более нагруженного двигателя, направится к менее нагруженному. При этом, естественно, часть энергии выделится в реостате, а другая ее часть поступит в ротор менее нагруженного двигателя.

Эту систему называют рабочим электрическим валом потому, что в ней одна и та же машина выполняет рабочую и синхронизирующую функции [0].

При $R_{доб}=0$ электрический вал превращается в обычные независимо работающие асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Если $R_{доб} = \infty$, электрические машины работают в режиме сельсинной передачи угла.

Недостатки этого метода таковы:

- уравнивающий момент в данной схеме зависит от величины напряжения, поэтому реостат в роторной цепи должен обеспечить большое скольжение роторов, примерно 25-30%, что приводит к большим потерям энергии в реостате;

- схема работает устойчиво при скоростях не выше 2/5 от синхронной, т.к. синхронизирующий момент в этой схеме резко падает при скоростях выше указанной.

Все это делает нерациональным применение этой схемы для привода вибрационного станка.

2. Схема синхронного вращения асинхронных двигателей с преобразователем частоты. В схеме, приведенной на рис. 3, роторные цепи преобразователя и приводных двигателей 2Д-3Д электрически связаны. Т.к. статорные обмотки указанных машин присоединены к одной и той же электрической цепи, то ЭДС роторов одинаковы и частота тока в роторных цепях также одинакова. Следовательно, все двигатели вращаются с одинаковой скоростью.

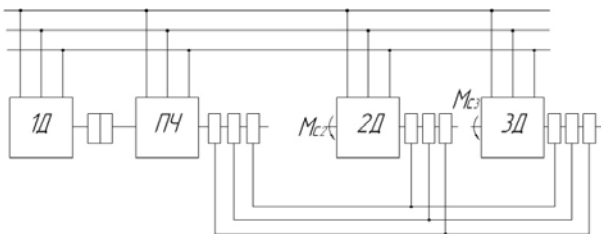


Рис. 3 - Схема синхронного вращения асинхронных двигателей 2Д, 3Д с преобразователем частоты

Работа системы возможна при вращении ротора преобразователя частоты ПЧ по полю или против поля статора.

При вращении ротора преобразователя частоты по полю уравнивающие моменты, развиваемые двигателями, невелики. Поэтому рекомендуется применять вращение ротора преобразователя частоты ПЧ против поля.

Мощность, потребляемая из сети преобразователем частоты ПЧ, за вычетом потерь, равна суммарной мощности всех двигателей, кроме главного 1Д. Мощ-

ность главного двигателя равна общей мощности, развиваемой всеми двигателями системы.

К недостаткам этой системы следует отнести следующее:

- наличие мощного дорогостоящего преобразователя частоты (преобразователь частоты может быть статический);

- наличие мощного дорогостоящего вспомогательного фазного асинхронного двигателя.

Эти факторы делают применение рассматриваемой системы синхронизации в вибрационных станках не рациональными.

3. Система синхронного вращения со вспомогательными синхронными машинами. На рис. 4. показана функциональная схема синхронизации, которая имеет две вспомогательные синхронные машины 1С и 2С, каждая из которых установлена на одном валу с главными приводными двигателями 1Д и 2Д и предназначена для синхронизации вращения валов 1 и 2.

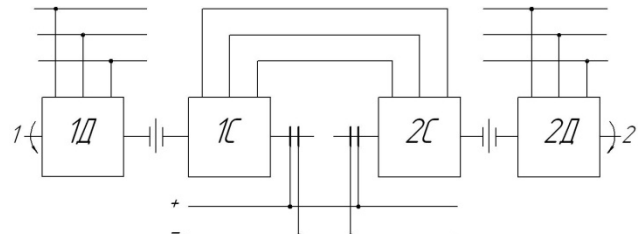


Рис. 4 - Схема синхронизации валов 1, 2 со вспомогательными синхронными машинами

Роторные обмотки 1С и 2С получают питание от сети постоянного тока, статорные обмотки соединены между собой. При нагрузке рабочей машины 1Д большей, чем нагрузка машины 2Д, ротор первой машины начнет отставать от ротора второй машины на угол θ . Вследствие возникновения угла рассогласования θ между ЭДС статорных обмоток 1С и 2С появится уравнивающий ток I , который в машине 2С создает генераторный момент, а в машине 1С – двигательный момент.

Момент, создаваемый вспомогательными машинами, определяется следующим выражением [0]:

$$M_{\text{син}} = 9,81 \frac{m U_c E_c}{\omega_c x_c} \sin \theta, \quad (5)$$

где m – количество фаз; U_c – линейное напряжение; E_c – э.д.с. вспомогательного двигателя; ω_c – угловая скорость ротора; x_c – реактивное сопротивление обмоток статора.

Недостатки системы синхронизации таковы:

- для питания обмоток синхронных машин требуется источник постоянного напряжения;

- при низких скоростях мал синхронизирующий момент, развиваемый вспомогательными машинами;

- данные системы в силу специфики работы синхронных двигателей ведут себя неустойчиво при переменных нагрузках.

Таким образом, рассмотренная система не может быть применена в качестве привода вибрационных станков.

4. Система синхронного вращения двигателей со вспомогательными асинхронными машинами. Особенности этой системы, как наиболее приемлемой для синхронизации работы двигателей вибрационного станка, рассматриваются более подробно.

Система, функциональная схема которой показана на рис. 5, может состоять из двух или нескольких блоков, каждый из которых, в свою очередь, состоит из главного или рабочего асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (1Д или 2 Д) и жестко связанной с ним вспомогательной машины 1ВМ или 2 ВМ с фазным ротором [12].

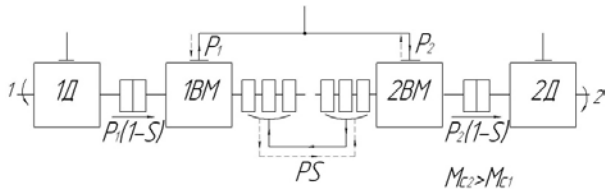


Рис. 5 - Схема синхронного вращения двигателей со вспомогательными асинхронными машинами

Вспомогательные машины могут при помощи главных двигателей вращаться по или против направленного магнитного поля статора. Условием нормальной работы установки является наличие равенства вторичных э.д.с. вспомогательных машин.

При вращении роторов обеих вспомогательных машин по полю и одинаковом расположении осей роторных обмоток в отношении осей поля статора, ток в роторной цепи 1ВМ и 2ВМ протекать не будет, т.к. роторные обмотки включены встречно.

В случае увеличения нагрузки, например, на валу второго двигателя 2Д в сравнении с нагрузкой на валу первого двигателя 1Д, ротор машины 2ВМ начнет отставать от ротора машины 1ВМ. В этом случае э.д.с. роторов, имеющие одинаковые абсолютные значения напряжений, сдвинутся по фазе, причем для отстающей машины э.д.с. ротора окажется опережающей.

Угол рассогласования между э.д.с. роторов равен θ и результирующая э.д.с. $\Delta E_2 \neq 0$, поэтому в роторной цепи потечет уравнивающий ток, который отстает на угол θ от результирующей э.д.с. Моменты вспомогательных машин не равны, причем момент второй машины всегда положительный, тогда как момент первой машины – отрицательный.

Вспомогательная машина 2ВМ, развивая положительный момент, потребляет мощность от сети P_1 , часть из которой (пренебрегая потерями) $P_2 = P_1(1-S)$ отдается второму валу, а другая часть в виде мощности скольжения передается первой вспомогательной машине.

Если мощность скольжения в роторе машины 1ВМ равна P_1S , то к валу ее подводится мощность $P_1(1-S)$. Т. о. эта машина, работая в генераторном режиме, отдает в сеть мощность P_1 . Следовательно, машина 1ВМ подгружает рабочий двигатель 1Д, а машина 2ВМ наоборот разгружает двигатель 2Д.

Тем самым вспомогательные машины создают уравнивающее действие и оба блока системы работают с одинаковой скоростью (вращаются синхронно), будучи нагружены приводом вибрационного станка

по-разному. Полная мощность, вносимая вспомогательными машинами в систему, равна нулю.

Моменты, развиваемые вспомогательными машинами при данном угле рассогласования, тем больше, чем выше рабочее скольжение. Поэтому для обеспечения надежной синхронизации хода практически прибегают к вращению роторов вспомогательных машин против поля ($S > 1$).

Для рассмотренного выше распределения нагрузок на валах элементов системы и вращения вспомогательных машин против поля э.д.с. 1ВМ будет опережать э.д.с. 2ВМ.

Моменты, развиваемые вспомогательными машинами, определяются аналогично. Однако, в данном случае уже машина 1ВМ развивает положительный момент, работая в режиме противовключения, она, потребляя мощность из сети и с вала, отдает ее в роторную цепь. Т. о. менее нагруженный двигатель 1Д по-прежнему подгружается.

Мощность скольжения поступает в ротор машины 2ВМ, затем передается валу 2Д и в сеть. Двигатель 2Д, получив с вала 2М дополнительную мощность, разгружается. Направление потоков мощности при работе вспомогательных машин против поля показано стрелками на рис. 5.

Уравнивающее действие системы определяется разностью моментов и называется уравнивающим моментом.

Уравнивающий момент при данном угле рассогласования тем больше, чем выше скольжение. Наибольшее значение уравнивающий момент имеет при $\theta = 90^\circ$. Т. к. практически угол рассогласования в установившемся режиме не превышает $\theta = 25-30^\circ$, то для получения достаточно большого уравнивающего момента необходимо обеспечить работу уравнивающих машин при значительном скольжении [0].

Т. к. уравнивающий ток, а, следовательно, и момент зависят не только от угла рассогласования осей роторов, но и от величин роторного напряжения, необходимо, чтобы при всех условиях работы привода это напряжение было достаточно велико. Для этого необходимо применять вращение против поля, т.е. статорные обмотки вспомогательных двигателей надо включить так, чтобы направление вращения магнитного поля вспомогательных (синхронизирующих) двигателей стало обратным по отношению к направлению вращения ротора. Система вращения против поля достаточно устойчива при изменении нагрузки, которое возможно при работе вибрационного станка.

Система электрического вала со вспомогательными асинхронными машинами является наиболее надежной, простой, практически удовлетворяющей требованию равенства скоростей всех входящих в систему валов, как при стационарном, так и при всякого рода переходных процессах. Механические свойства такой системы вполне аналогичны свойствам жесткого вала, соединяющего дебалансные механизмы вибрационных станков.

Результаты исследования систем синхронизации электроприводов длинномерных вибрационных станков. Проведенные исследования систем синхронизации показали, что в сравнении с другими, система синхронизации по принципу электрического

вала обладает рядом неоспоримых достоинств. Система электрического вала со вспомогательными асинхронными машинами является наиболее надежной, простой, практически удовлетворяющей требованию равенства скоростей всех входящих в систему валов, как при стационарном, так и при всякого рода переходных процессах. Механические свойства такой системы вполне аналогичны свойствам жесткого вала, соединяющего дебалансные механизмы вибрационных станков.

Обсуждение результатов исследования систем синхронизации электроприводов длинномерных вибрационных станков. В результате исследований установлено, что применение системы синхронизации приводов вибрационного станка по схеме электрического вала со вспомогательными асинхронными машинами является наиболее рациональным. Выбранная схема синхронизации обладает высокой надежностью, является простой, практически удовлетворяет требованию равенства скоростей всех входящих в систему валов, как при стационарном, так и при всякого рода переходных процессах. Механические свойства такой системы вполне аналогичны свойствам жесткого вала, соединяющего дебалансные механизмы вибрационных станков.

Выводы. В работе выполнен анализ систем синхронизации приводов вибрационного станка. Выбрана система синхронизации двигателей по схеме электрического вала с применением в качестве главных двигателей асинхронных с короткозамкнутых ротором и в качестве вспомогательных двигателей – с фазным ротором

Список литературы: 1. Бабичев, А. П. Конструирование и эксплуатация вибрационных станков для обработки деталей [Текст] / А. П. Бабичев, Л. К. Зеленцов, Ю. М. Самодумский. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1981. – 160 с. 2. Денисов, П. Д. Анализ конструкций вибрационных машин непрерывного действия [Текст] / П. Д. Денисов // Вибрации в технике и технологиях. – 1995. – No 1(2). – С. 3–7. 3. Романченко, А. В. Расширение технологических возможностей вибрационного оборудования за счет создания условий обработки длинномерных деталей [Текст]: дис... канд. тех. наук / А. В. Романченко. – Чернигов, 2011. – 203 с. 4. Калмыков, М. А. К вопросу выбора

приводного двигателя вибростанков [Текст] / М. А. Калмыков, А. В. Романченко, В. В. Яковенко // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2010. – 5/7(47). – С. 45–51. 5. Калмыков, М. А. Определение функциональной зависимости между амплитудой контейнера и его длиной [Текст] / М. А. Калмыков, А. В. Романченко // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2011. – 3/7(51). – С. 19–23. 6. Калмыков, М. А. К вопросу синхронизации приводных двигателей вибростанков для обработки длинномерных деталей [Текст] / М. А. Калмыков, Б. Н. Локотос, А. В. Романченко, В. В. Яковенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – 6/9 (48). – С. 57–61. 7. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины [Текст] / А. В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1986. – 928 с. 8. Санджр, А. С. Динамика каскадных асинхронных электроприводов [Текст] / А. С. Санджр, Л. М. Тарасенко. – М.: Энергия, 1987. – 200 с. 9. Меццержаков, В. Н. Синхронизированный асинхронный электропривод с частотным управлением [Текст] / В. Н. Меццержаков, А. А. Солوماتин // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2006. – No 2. – С. 11–18. 10. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода [Текст] / М. Г. Чиликин, А. С. Санджр – М.: Энергия, 1987. – 576 с. 11. Голубев, М. И. Тиристорный электропривод [Текст] / М. И. Голубев. – К.: ИЗМН, 1999. – 412 с. 12. Филиппов, Б. А. Основы электропривода [Текст] / Б. А. Филиппов, Н. Ф. Ильинский. – М.: Изд-во МЭИ, 1997. – 304 с.

Bibliography (transliterated): 1. Babichev, A. P., Zelencov, L. K., Samodumskij, Ju. M. (1981). Konstruirovaniye i jekspluatacija vibracionnyh stankov dlja obrabotki detalej. Izd-vo Rostovskogo universiteta, 160. 2. Denisov, P. D. (1995). Analiz konstrukcij vibracionnyh mashin nepreryvnoho dejstvija. Vibracii v tehnike i tehnologijah, 1(2), 3–7. 3. Romanchenko, A. V. (2011). Rasshirenie tehnologicheskikh vozmozhnostej vibracionnogo oborudovaniya za schet sozdaniya uslovij obrabotki dlinnomernyh detalej [Текст]: дис... канд. тех. наук. Chernigov, 203. 4. Kalmykov, M. A., Romanchenko, A. V., Jakovenko, V. V. (2010). K voprosu vybora privodnogo dvigatelja vibromashin. Vostochnoevropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 5/7(47), 45–51. 5. Kalmykov, M. A., Romanchenko, A. V. (2011). Opredelenie funkcion-al'noj zavisimosti mezhdju amplitudoj kontejnera i ego dlinoj. Vostochnoevropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 3/7(51), 19–23. 6. Kalmykov, M. A., Lokotosh, B. N., Romanenko, A. V., Jakovenko, V. V. (2010). K voprosu sinhronizacii privodnyh dvigateljev vibromashin dlja obrabotki dlinnomernyh detalej. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 6/9 (48), 57–61. 7. Ivanov-Smolenskij, A. V. (1986). Jelektricheskie mashiny. Jenergija, 928. 8. Sandzhr, A. S., Tarasenko, L. M. (1987). Dinamika kaskadnyh asinhronnyh jelektroprivodov. Jenergija, 200. 9. Meshherjakov, V. N., Solomatin, A. A. (2006). Sinhronizirovannyj asinhronnyj jelektroprivod s chastotnym upravleniem. Jelektrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravlenija, 2, 11–18. 10. Chilikin, M. G., Sandzhr, A. S. (1987). Obshhij kurs jelektroprivoda. Jenergija, 576. 11. Golubjev, M. I. (1999). Tyristorni jelektroprivody. IZMN, 412. 12. Filippov, B. A., Il'inskij, N. F. (1997). Osnovy jelektroprivoda. Izd-vo MJEI, 304.

Поступила (received) 07. 12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Романченко Олексій Володимирович – кандидат технічних наук, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, доцент кафедри машинобудування, верстатів та інструментів, пр. Радянський, 59-а, м Северодонецьк, Україна, 93400; тел.: 099-038-24-79, e-mail: romanchenkoav@mail.ru.

Романченко Алексей Владимирович – кандидат технічних наук, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, доцент кафедри машиностроєння, станків та інструментів, пр. Советський, 59-а, г. Северодонецьк, Україна, 93400; тел.: 099-038-24-79, e-mail: romanchenkoav@mail.ru.

Romanchenko Oleksij Vladimirovich – candidate of technical sciences, Eastukrainian National University of Volodymyr Dahl, assistant professor of department of Machine building, machine tools and instruments, pr. Sovtyskyu, 59, Severodonetsk, Ukraine, 93400; tel.: 099-038-24-79, e-mail: romanchenkoav@mail.ru.

УДК 657

Г. Л. МЕЛКОНОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ВАЛКОВЫЕ КАЛИБРЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ СФЕРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

В статье уточнены сущность и методы обработки валковых калибров, определены режимы резания и некоторые виды конструкций режущих инструментов металлорежущих станков и материалы. Станочное оборудование для механической обработки прокатных валков подразделяется на основное и вспомогательное. К основному технологическому оборудованию относятся такие станки которые имеют применение непосредственно в технологическом процессе промышленного изготовления винтовых волновых калибров. К вспомогательному оборудованию такого рода относятся станки, предназначенные для изготовления режущего инструмента, заточки инструмента и приспособлений.

Ключевые слова: винтовой калибр, режущие инструменты, металлорежущие станки, материалы, заточка, приспособление, волновые калибры, прокатные валки.

Введение. В настоящее время обработка винтовых волновых калибров осуществляется на специальных токарных станках.

Все станочное оборудование для механической обработки прокатных валков подразделяется на основное и вспомогательное.

К основному технологическому оборудованию относятся станки, используемые непосредственно в технологическом процессе изготовления винтовых волновых калибров. К вспомогательному оборудованию относятся станки, предназначенные для изготовления, заточки инструмента, приспособлений и т.д.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Рассматривая технологию изготовления винтовых волновых калибров необходимо подробно остановиться на материалах из которого они изготавливаются, это является важной частью технологического процесса и требует особого внимания. Необходимо рассмотреть предлагаемые режимы резания для их обработки. Помимо материала и режимов обработки необходимо составить перечень металлорежущего оборудования, участвующего непосредственно в процессе обработки. Этим вопросом занимались такие учёные Соколов В.Е., Огарков Н.Н., Г.С. Гун [1]. Они установили, что для обработки волновых калибров используются металлорежущие станки:

1. Токарные станки для центровки винтовых волновых калибров.
2. Токарные станки для черновой обточки.
3. Токарные станки для чистовой обработки.
4. Фрезерные станки для фрезеровки шпоночных пазов.
5. Шлифовальные станки для шлифовки вала.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является обработка винтовых волновых калибров, используемых в качестве основного инструмента для производства шаров запорной арматуры [2].

Задачей исследования, данной статьи является обоснование возможных методов использования винтовых волновых калибров в качестве основного инструмента для производства шаров запорной арматуры.

Винтовые калибровочные валки для производства шаров для шарикоподшипников и мельничных шаров.

Материал с содержанием хрома и никеля (хромоникелевые валки СПХН -59, СПХН -62, СПХН -65) литые чугунные калибровочные винтовые валки.

Материал инструмента – ВК8, ВК6, ВК4, ВК3.

Режим резания: НВ – 400-480 СПХН-62

Обточка рабочей поверхности с продольной подачей: $v, \text{ м/с}$

Винтовые калибровочные валки для производства шаров для шарикоподшипников и мельничных шаров.

Обточка рабочей поверхности с продольной подачей:

$$v, \text{ м/с} = \frac{0,08-0,1}{0,15} \quad (1)$$

$$S \text{ мм/об} = \frac{1,5-2,5}{3,5-4,0} \quad (2)$$

$$t, \text{ мм} = \frac{3,0-3,5}{3,0-4,0} \quad (3)$$

Обточка рабочей поверхности с поперечной подачей:

$$v, \text{ м/с} = \frac{0,08-0,1}{0,1-0,12} \quad (4)$$

$$S \text{ мм/об} = \frac{0,25-0,4}{0,25-0,4} \quad (5)$$

$$t, \text{ мм} = \frac{30}{30} \quad (6)$$

Обточка неробочих $v, \text{ м/с} = 0,22 - 0,3$ поверхностей: (7)

$$S \text{ мм/об} = 0,8 - 1,2 \quad (8)$$

$$t, \text{ мм} = 20 - 30 \quad (9)$$

Отрезка вала $v, \text{ м/с} = 0,2 - 0,23$ (10)

$$S \text{ мм/об} = 0,3 - 0,5 \quad (11)$$

$$t, \text{ мм} = 30 \quad (12)$$

В числителе – режимы обработки для точения валков "по корке", в знаменателе - "после корки" [3].

На каждом заводе, изготавлиющем винтовые волновые калибры, осуществляют свой технологический процесс, отличающийся от других некоторыми техническими особенностями. Каждый технологический процесс ведут на основании разработанных технологических инструкций и операционных карт.

© Г. Л. Мелконов. 2015

Винтовые волновые калибры широкого применения для изготовления двутавров, рельсов шаров для шарикоподшипников и шаровых мельниц [4].

Подробно рассмотрим технологию изготовления винтовых волновых калибров работающих по принципу поперечного проката, при производстве шаров. Схема процесса представлена на рисунке 1. Круглый пруток задается в непрерывно вращающиеся валки, на боковой поверхности которых нарезаны винтовые калибры, имеющие обратный профиль по отношению к прокатываемому изделию. Прокатка сплошных изделий осуществляется на двухволновом стане. Передний конец прутка захватывается ребрами валков, начинает вращаться и, передвигаясь по оси калибра, постепенно обжимается, приобретая форму шара.

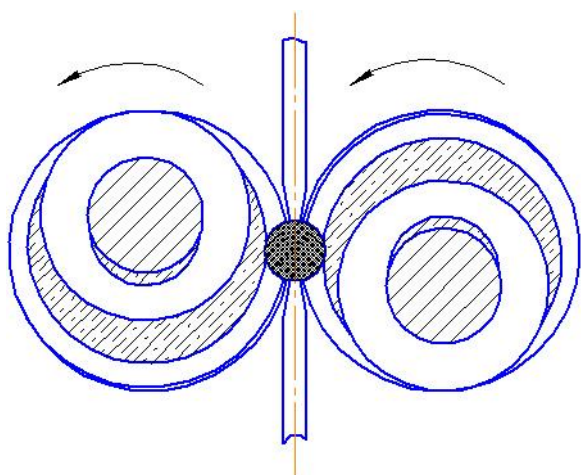


Рис. 1 – Схема прокатки шаров

В конце калибра изделие отделяется от тела прутка и выбрасывается из винтовых волновых калибров. В это же время передние реборды валков захватывают новую партию металла и процесс формообразования осуществляется непрерывно до тех пор пока не закончится весь пруток.

Как отмечалось ранее винтовые волновые калибры применяются для прокатки шаров. Технология изготовления валков, применяемая на заводе фирмы ООО «ШПС» следующая.

Заготовку прокатного вала на первой операции подвергают центровке. Для этого используются специальный фрезерно-центровальный станок.

В начале с двух сторон одновременно фрезеруются торцы, а затем также одновременно с двух сторон, на второй позиции, сверлятся два центровочных отверстия.

После этого заготовка передается на токарный станок. Модель станка выбирается в зависимости от диаметра и длины обрабатываемого вала.

На токарном станке предварительно протачивают шейки и бочку вала, начерно. Так как к прокатываемым шарам предъявляются повышенные требования по точности и шероховатости обработки поверхности, то и валы должны быть изготовлены с достаточно высокой точностью. Поэтому чистовую обработку шеек и бочки вала ведут на другом станке аналогичной модели с использованием люнетов [5].

Следующим шагом по обработке винтовых поверхностей шаропрокатных валков является использование специализированного токарного оборудования. В конструкцию универсальных токарных станков модели 1А660; 1А661; 1Н63; 1Н65; РТ-117 и т.д. вносятся изменения, позволяющие обрабатывать винтовую поверхность. Этими конструктивными изменениями являются разработанные и установленные на станок копировальные механизмы. В конструкцию копировальных механизмов входят копировальные кулачки или линейное копиры. Процесс точения винтовых волновых калибров сводится к следующим технологическим операциям: 1 – черновую 2- чистовую.

Для чернового точения используются специальные фасонные резцы для черновой обработки ручьев валков (рис. 2).

Фасонные резцы представляют из себя твердосплавные пластины ВК8; ВК3Н напаянные на державку.

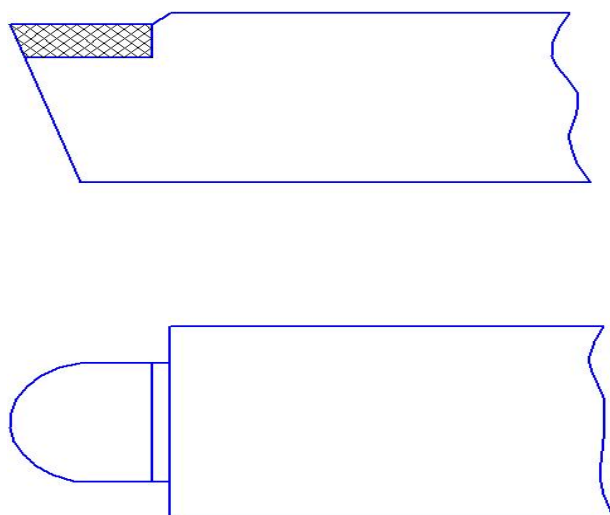


Рис. 2 – Фасонный резец

Для чистового точения волновых ручьев используются чашечные резцы, представляющие из себя чашечные пластины (рис. 3)

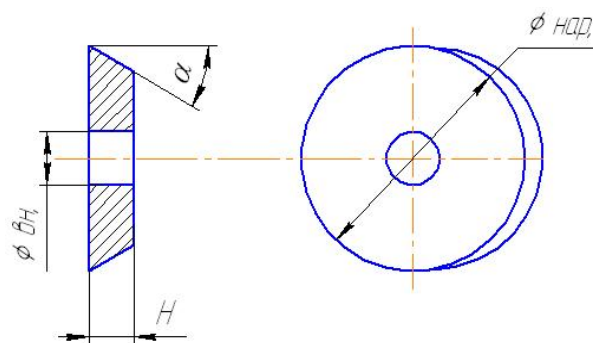


Рис. 3 – Чашечная пластина

Эти чашечные пластины устанавливаются неподвижно на резцедержку и жестко к ней крепятся. Необходимо отметить, что для каждого профиля ручьев винтовых волновых калибров применяются чашечные пластины определенных размеров, а именно диаметр базового отверстия, наружный диаметр, высота пластины и углы пластины [6].

Данная конструкция режущего инструмента позволяет достаточно точно изготавливать винтовые ручки шаропрокатных валков.

Чашечные резцы позволяют вести обработку рабочих ручьев калибров с достаточно высокой точностью и чистотой обработанной поверхности. Точность обработки составляет 6-8 квалитет, а шероховатость поверхности находится в пределах $Ra = 1,6 - 3,2$ мкм.

Токарную обработку винтовых поверхностей рабочих ручьев шаропрокатных калибров ведут чашечными резцами до полного соответствия контуров ручки шаблону.

Однако метод применения в качестве режущего инструмента круглых чашечных пластин имеет ряд существенных недостатков: значительные силы и температура в зоне резания; высокие вибрации; большие силы резания значительно снижают стойкость режущего инструмента, а иногда приводят к разрушению режущей кромки [7].

В следствии низкой стойкости чашечных пластин приходится останавливать процесс обработки и выводить из зацепления с заготовкой резец.

После вывода резца из зоны резания отпускают винты крепления пластины и поворачивают ее на угол $90^0 - 95^0$ - позволяющие ввести в процесс обработки неизношенные участки лезвия. Затем резец, посредством механизма копира, возвращают назад на 1-2 витка, сообщают вращения заготовки и вводят с ней в зацепление новый участок лезвия чашечного резца.

Такой схеме технологической обработки рабочих ручьев присуща не высокая производительность при изготовлении винтовых волновых калибров.

Большим резервом повышения производительности труда при чистовом точении рабочих ручьев винтовых волновых калибров является применение чашечных резцов с вращающейся режущей кромкой [8].

Существуют два метода вращения режущей кромки – самовращение и принудительное вращение.

Необходимо отметить, что применение самовращающихся резцов не целесообразно из-за нестабильного вращения.

Нестабильность вращения возникает из-за постоянного контакта правой и левой реборд, что в свою очередь приводит к торможению и остановке резца. Частые остановки и торможения ведут к резкому износу и «прижогам» рабочей кромки [9,10].

Потому применение принудительно вращающихся резцов позволяет избежать подобных неприят-

ностей. К основным преимуществам чашечных принудительно вращающихся резцов можно отнести следующие: стабильность вращения режущей кромки инструмента, независимое направление вращения инструмента от вращения заготовки; обеспечение оптимальной величины вращения режущей кромки инструмента, оптимизация режимов резания.

Выводы. В ходе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что значительным резервом повышения производительности труда при чистовом точении рабочих ручьев винтовых волновых калибров является использование для этой цели принудительно вращающихся чашечных резцов.

Список литературы: 1. Гун, А. С. Обработка прокатных валков [Текст] / А. С. Гун, В. Е. Соколов, Н. Н. Огарков. – М.: Металлургия, 1983. – 112 с. 2. Северденко, В. П. Валки для профильного проката [Текст] / В. П. Северденко, Ю. Б. Бахтинов, В. Б. Бахтинов. – М.: Металлургия, 1979. – 224 с. 3. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов [Текст] / В. Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 345 с. 4. Макаров, А. Д. Оптимизация процессов резания [Текст] / А. Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 200 с. 5. Целиков, А. И. Специальные прокатные станы [Текст] / А. И. Целиков, М. В. Барбарич, М. В. Васильчиков, С. П. Грановский, Е. А. Жуневич-Стоша. – М.: Металлургия, 1971. – 336 с. 6. Мелконов, Л. Д. Принудительно вращающийся чашечный резец [Текст] / Л. Д. Мелконов. – М.: Машиностроение, 1980. – No3. – 19 с. 7. Мелконов, Л. Д. Точение по методу обкатки [Текст] / Л. Д. Мелконов // В кн.: «Автомобильная промышленность». – 1981. – No4. – С. 29. 8. Мелконов, Л. Д. Технологическое обеспечение качества и точности обработки валов принудительно вращающимися резцами [Текст] / Л. Д. Мелконов // диссертация кандидата техн. наук – М.: 1985. – 188 с. 9. Ильюшин, А. А. Сопrotivление материалов [Текст] / А. А. Ильюшин, В. С. Ленски. – М.: Физматгиз, 1959. – 365 с. 10. Зорев, Н. Н. Исследование элементов механики процесса резания [Текст] / Н. Н. Зорев. – М.: Mashgiz, 1952. – 363 с.

Bibliography (transliterated): 1. Gun, A. S., Sokolov, V. E., Ogarkov, N. N. (1983). Obrabotka prokatnykh valkov. Moscow: Metallurgiya, 112. 2. Severdenko, V. P., Baxtinov, Yu. B., Baxtinov, V. B. (1979). Valki dlya profilnogo prokata. Moscow: Metallurgiya, 224. 3. Bobrov, V. F. (1975). Osnovy teorii rezaniya metallov. Moscow: Mashinostroenie, 345. 4. Makarov, A. D. (1976). Optimizatsiya processov rezaniya. Moscow: Mashinostroenie, 200. 5. Celikov, A. I., Barbarich, M. V., Vasilchikov, M. V., Granovskij, S. P., Zhunevich-Stosha, E. A. (1971). Specialnye prokatnye stany. Moscow: Metallurgiya, 336. 6. Melkonov, L. D. (1980). Prinuditelnoe vrashhayushhijsya chashechnyj rezec. Moscow: Mashinostroenie, No3, 19. 7. Melkonov, L. D. (1981). Tochenie po metodu obkatki. V kn.: «Avtomobilnaya promyshlennost», No4, 29. 8. Melkonov, L. D. (1985). Technologicheskoe obespechenie kachestva i tochnosti obrabotki valov prinuditelno vrashhayushhimisya rezcamy. Dissertatsiya kandidata texn. nauk. Moscow, 188. 9. Ilyushin, A. A., Lenski, V. S. (1959). Soprotivlenie materialov. Moscow: Fizmatgiz, 365. 10. Zorev, N. N. (1952). Issledovanie elementov mexaniki processa rezaniya. Moscow: Mashgiz, 363.

Поступила (received) 13.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мелконов Григорий Леонидович – кандидат технических наук, доцент, Кафедра Машиностроения, станков и инструментов, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, пр. Советский 59, г. Северодонецк, Украина, 93400, тел. : 095-584-88-87, e-mail: g_melkonov@mail.ru.

Мелконов Григорій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, Кафедра Машинобудування, верстатів та інструментів, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, пр. Радянський 59-а, м. Северодонецьк, Україна, 93400, тел.: 095-584-88-87, e-mail: g_melkonov@mail.ru.

Melkonov Gregory – candidate of technical sciences, associate professor, Department of Mechanical Engineering, machinery and instruments Eastern National University. Volodymyr Dahl Avenue Soviet 59th, Severodonetsk, Ukraine, 93400 tel. : 095-584-88-87, e-mail: g_melkonov@mail.ru.

УДК 536.423+532.528

Ю.О. ШУРЧКОВА, І. О. ДУБОВКІНА

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ГІДРОДИНАМІЧНИХ КОЛИВАНЬ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ВОДНО-ЕТАНОЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Проведений аналіз процесів, що мають місце в бінарних системах вода-етанол: гідратації, асоціації. Представлено дослідження властивостей водних систем оброблених методом дискретно-імпульсного введення енергії. Наведено результати експериментальних досліджень впливу високочастотних гідродинамічних коливань на фізико-хімічні параметри водних систем. Встановлено зниження вмісту розчиненого кисню у водно-етанольних сумішах. Сформульовано висновки, які мають практичну цінність для проведення подальших наукових досліджень у даному напрямку та розроблення рекомендацій для промислового виробництва.

Ключові слова: водно-етанольні суміші, дискретно-імпульсне введення енергії, знекиснення, високочастотні гідродинамічні коливання.

Вступ. На сьогоднішній день існує ряд чинників, вплив яких ускладнює одержання готової продукції зі стабільно високими якісними показниками. Зазвичай, якість визначається фізико-хімічними показниками вихідних компонентів та способом одержання продукту. Виробництво сумішей, досить складна технологічна операція і, як правило, пов'язана із процесами змішування.

При здійсненні процесів, пов'язаних із необхідністю рівномірного змішування та розподілу різних фаз у рідкій основі істотного значення набуває можливість прогнозування реакції таких систем залежно від різного роду зовнішніх періодичних або енергетичних впливів.

Як показали раніше виконані дослідження динамічних явищ у багатофазних середовищах, що піддавались фізичним та електрофізичним методам обробки [1], а саме, керованим вібраційним енергетичним впливам, багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації масообмінних процесів, так і при розробці та реалізації принципово нових технологічних прийомів, а саме, оброблення водних систем, зміни їх властивостей, біологічної активації [2].

Постановка проблеми. Основною задачею сучасних технологій одержання водно-етанольних сумішей передбачено застосування інноваційних енергозберігаючих та екологічних методів, що забезпечують покращення якісних показників готової продукції.

Метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) може стати одним із засобів вирішення цієї задачі. Сутність методу полягає в тому, щоб попередньо стаціонарно введена та довільним чином розподілена в робочому об'ємі енергію акумулювати в локально роз'єднаних дискретних точках системи і в подальшому імпульсно реалізувати для досягнення необхідних фізичних ефектів: нагнітання та скидання тиску, адіабатного закипання, гідравлічного удару, ударних хвиль тиску або розрідження, напружень зсуву, локальної турбулентності, кавітації [3].

Ці фізичні ефекти сприяють інтенсифікації багатьох фізико-хімічних перетворень, активізують окислювально-відновлювальні процеси, процеси іонізації [4]. Розщеплення молекул води та виникнення радикалів H^+ та OH^- впливає на основні властивості водних систем та розчинів – їх густину, стисливість, коефіцієнт дифузії, електро- та теплопровідність, розчинну здатність та інші характеристики, такі як утворення клатратів та різних комплексів, швидкість гідратації, структуроутворення, виникнення розвиненої сітки водневих зв'язків [5].

Водні системи здатні утворювати тривимірну

неперервну сітку водневих зв'язків рис. 1 між окремими молекулами, що постійно змінюється, рекомбінується та відновлюється [6], завдяки цьому вода і має аномальні властивості.

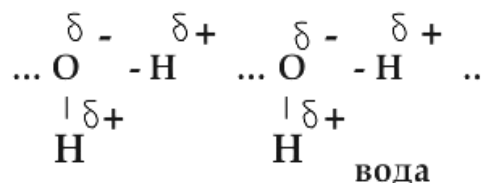


Рис. 1 – Механізм утворення водневих зв'язків у воді

Вперше гідратну теорію розчинів розробив Д. І. Менделєєв [7], в подальшому вона стала основою вивчення їх природи. За цією теорією розчини являють собою змінні дисоціюючі хімічні сполуки розчиненої речовини і розчинника, що мають назву сольватів, а у випадку водних розчинів – гідратів. Водно-етанольні суміші являють собою асоціати та гідрати змішаного типу рис. 2.

Форми, які можуть утворювати асоціати дуже різноманітні: лінійні ланцюгові, об'ємні багатогранники, кільцеві та обумовлені не лише молекулами води, етанолу, домішок (альдегідів, сивушних масел, естерів), вільних радикалів, що містяться у водно-етанольних системах, а також умовами проведення процесу їх змішування.

Складність будови водно-етанольних сумішей підтверджується також термодинамічними властивостями: зміною вільної енергії утворення суміші, виникненням екстремумів на кривих парціальних об'ємів і парціальних ентальпій та ентропії етанолу залежно від його концентрації.

Вивчення та дослідження нових закономірностей зміни властивостей водних систем дає можливість вибрати найбільш ефективні методи та технології управління зміною фізико-хімічних параметрів на молекулярному рівні.

Вода є базовим компонентом будь-якої водної системи. Основну масу природної води – майже 99 % складає протієва вода - $H^1_2O^{16}$. Важкокисневих вод набагато менше: $H^1_2O^{18}$ – десятки долі відсотка. Ізотопу $H^1_2O^{17}$ – соті долі відсотка від загальної кількості природних вод. Лише мільйонні долі відсотка складає важка вода D_2O . В природних водах міститься значна кількість важкої води, але в формі $H^1D_2O^{16}$. В природі найбільш розповсюджені 9 стійких ізотопів води (табл. 1).

© Ю.О. Шурчкова, І. О. Дубовкіна. 2015

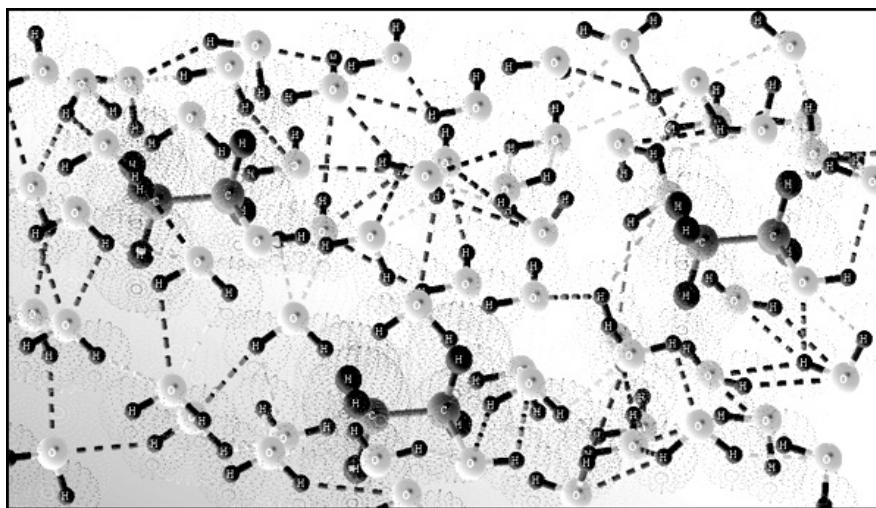


Рис. 2 – Асоціати в бінарній системі вода-етанол із утворенням водневих зв'язків: фрагмент системи в якій кількість молекул відповідає: молярній концентрації 7 моль/літр; масовій концентрації 52 %; об'ємній концентрації 40 % об. (візуалізацію виконано в прикладному пакеті HyperChem)

Таблиця 1 – Ізотопи води

$\text{H}^1_2\text{O}^{16}$	$\text{H}^1\text{D}^2\text{O}^{16}$	$\text{D}^2_2\text{O}^{16}$
$\text{H}^1_2\text{O}^{17}$	$\text{H}^1\text{D}^2\text{O}^{17}$	$\text{D}^2_2\text{O}^{17}$
$\text{H}^1_2\text{O}^{18}$	$\text{H}^1\text{D}^2\text{O}^{18}$	$\text{D}^2_2\text{O}^{18}$

Рідше, ніж D_2O , зустрічаються і дев'ять радіоактивних природних ізотопів води, що містить тритій (табл. 2):

Таблиця 2 – Ізотопи води, що містять тритій

$\text{T}^3_2\text{O}^{16}$	T^3O^{16}	$\text{D}^2\text{T}^3\text{O}^{16}$
$\text{T}^3_2\text{O}^{17}$	$\text{H}^1\text{T}^3\text{O}^{17}$	$\text{D}^2\text{T}^3\text{O}^{17}$
$\text{T}^3_2\text{O}^{18}$	$\text{H}^1\text{T}^3\text{O}^{18}$	$\text{D}^2\text{T}^3\text{O}^{18}$

Під класичною водою потрібно розуміти протієву воду $\text{H}^1_2\text{O}^{16}$ в чистому вигляді, тобто, без будь-яких інших ізотопів. Але, нажаль, в чистому вигляді $\text{H}^1_2\text{O}^{16}$ майже не зустрічається, тому воду вважають як суміш ізотопів води складу $\text{H}^1_2\text{O}^{16}$, $\text{H}^1_2\text{O}^{17}$ і $\text{H}^1_2\text{O}^{18}$.

Підсумовуючи вищевикладене, можна зробити висновки, що вода є досить складною багатокомпонентною системою.

На сьогоднішній момент зібрана велика кількість експериментального матеріалу, що відображає важливість явища гідратації для розуміння природи рідкого стану речовини, розчинів та утворення сумішей, окрім того, існує велика кількість моделей які описують структуру води та допомагають прогнозувати її фізико-хімічні параметри.

Процеси розподілу та перерозподілу води в сумішах і розчинах дуже складні й безупинно змінюються при зміні концентрації, температури та інших факторів.

Ажурність одної структури припускає можливість здійснення декількох типів розчинення залежно від властивостей молекул розчиненої речовини. Найбільш загальний випадок представляє собою розчинення молекул, в яких утримуються полярна та неполярна група. До таких речовин належать спирти, наприклад етанол.

Таким чином, актуальним науковим завданням є вивчення впливу високочастотних гідродинамічних

коливань на фізико-хімічні параметри водно-етанольних сумішей, а також процеси змішування етанолу з водою і водними системами.

Ґрунтуючись на даних огляду літератури виявлено, що проблеми процесу змішування мають багато важливих невирішених питань, встановлено, що перспективним напрямом досліджень є використання високочастотних гідродинамічних коливань.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження впливу методу дискретно-імпульсного введення енергії, а саме впливу високочастотних гідродинамічних коливань на фізико-хімічні параметри водно-етанольних сумішей.

Методика проведення експериментальних досліджень, технічні характеристики обладнання та результати проведених досліджень. Основні технологічні та технічні особливості при використанні високочастотних гідродинамічних коливань в технології одержання водно-етанольних сумішей полягають у наступному:

- воду, перед застосуванням в технологічному процесі одержання водно-етанольних сумішей переводять у метастабільний стан шляхом її активації, що характеризується аномальними значеннями активності електронів та інших фізико-хімічних параметрів піддаючи її обробленню високочастотними гідродинамічними коливаннями (піддають впливу фізичних ефектів: нагнітання та скидання тиску, адіабатного закипання, гідравлічного удару, ударних хвиль тиску або розрідження, напружень зсуву, локальної турбулентності, кавітації);

- процес змішування води з етанолом проводять безпосередньо в умовах високочастотних гідродинамічних коливань, це досягається шляхом введення окремих потоків води та етанолу в робочу зону обладнання.

Для проведення досліджень було використано обладнання, в якому реалізуються високочастотні гідродинамічні коливання, а саме роторно-пульсаційний апарат, який був розроблений в Інституті технічної теплофізики НАН України. Технологічні параметри обладнання наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Технологічні параметри експериментального роторно-пульсаційного апарату

Технологічні параметри	Швидкість зсуву потоку	Напруження зсуву потоку	Кількість коливань, що проходиться на елементарний об'єм при проходженні через робочий орган	Час перебування елементарного об'єму в робочій зоні апарата
Розмірність	с^{-1}	Па	n	c
Значення	$2,4 \cdot 10^5$	244	168-215	$73 \cdot 10^{-3}$

Для реалізації досліджень було використано багатофакторний експеримент, на підставі попередніх досліджень були визначені інтервали варіювання факторів [8].

Розчинений кисень знаходиться у водних системах у вигляді молекул O_2 . Концентрація розчиненого у водних системах кисню є інтегральною величиною, що визначається співвідношенням різноспрямованих фізико-хімічних, гідродинамічних процесів, які відбуваються у водних системах та на межі розділення фаз «водна система-атмосфера».

Основним джерелом надходження кисню у водні системи є атмосфера, де він міститься в значній кількості. Абсорбція кисню з атмосфери відбувається на поверхні водних систем. Швидкість цього процесу підвищується зі зниженням температури, із підвищенням тиску і зниженням мінералізації. Кількісний вміст кисню у розчині визначається його парціальним тиском у повітрі та описується законом Генрі.

Кількість розчиненого кисню впливає на швидкість окисно-відновних реакцій. Чим менша кількість розчиненого кисню в водно-етанольних сумішах, тим триваліший їх час зберігання. Кількість кисню впливає на вміст та утворення шкідливих домішок.

Під час проведення експериментальних досліджень із застосуванням оброблення високочастотними гідродинамічними коливаннями водно-етанольних бінарних систем було встановлено, що має місце зниження вмісту розчиненого кисню (рис. 3).

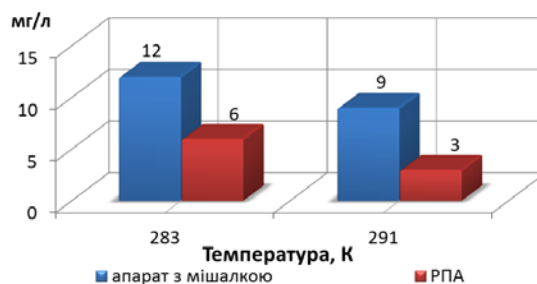


Рис. 3 – Вміст розчиненого кисню у водно-спиртових сумішах залежно від способу одержання

В результаті проведених досліджень було встановлено, що внаслідок дії інтенсивних напружень зсуву в системах вода-етанол відбувається інтенсивне знекиснювання в умовах застосування високочастотних гідродинамічних коливань – на 50 %, за температури 10°C (283K), та – на 66 %, за температури 18°C (291K). При цьому відбувається зниження вмісту шкідливих домішок альдегідів та сивушних масел шляхом унеможливлення окислення молекул етанолу до оцтового альдегіду та зниження реакційної здатності вільних радикалів.

Результати досліджень водно-спиртових сумішей на наявність шкідливих домішок отриманих за традиційною технологією та в умовах високочастотних гідродинамічних коливань наведені у табл. 4.

Таблиця 4 – Вміст домішок у водно-етанольних сумішах 40 % об.

No п/п	Компонент	Промисловий спосіб (змішування в апараті з мішалкою)	Із застосуванням високочастотних гідродинамічних коливань
		мг/дм.куб	
1	Ацетальдегід	1,4622	1,0668
2	Метанол	0,0014	0,0014
3	2-пропанол	0,5483	0,5400
4	1-пропанол	0,1271	0,1222
5	1-бутанол	0,1564	0,1443
6	2-бутанол	0,1169	0,0981

При проведенні порівняльного аналізу результатів досліджень було встановлено, що вміст шкідливих домішок у водно-етанольних сумішах одержаних промисловим способом, в апараті з мішалкою, перевищує вміст домішок, у сумішах одержаних пропонованим способом. Відповідно до цього, можна зробити висновок, що суміші мають покращені фізико-хімічні параметри [9,10].

Узагальнення результатів цих досліджень доводить доцільність використання високочастотних гідродинамічних коливань для проведення процесу змішування води та етанолу дозволить визначити раціональні технологічні умови проведення процесу одержання водно-етанольних сумішей.

Висновки. Визначена актуальність безперервної технології одержання водно-етанольних сумішей

із застосуванням високочастотних гідродинамічних коливань та оброблення водних систем методом дискретно-імпульсного введення енергії. Показані проблеми утворення шкідливих домішок при змішуванні води та етанолу, пов'язані зі складністю одержання етанолу заданої якості. Наведені результати досліджень параметрів водно-етанольних сумішей та підтверджено покращення фізико-хімічних параметрів одержаних сумішей. За результатами дослідження запропоновано енергозберігаючу технологію одержання водно-етанольних сумішей, що може бути застосована в різних галузях промисловості: харчовій, фармацевтичній, косметичній, для одержання водно-етанольних сумішей та продуктів на їх основі покращеної якості.

Планується в подальшому провести дослідження

впливу високочастотних гідродинамічних коливань на фізико-хімічні параметри для інших аліфатичних спиртів, з метою розширення областей застосування технології.

Список літератури: 1. Rogov, I. A. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов [Текст] / И. А. Рогов. – М.: Агрпроимиздат, 1988. – 272 с. 2. Food processing operations modeling. Design and analysis [Text] / [second edition] : edited by Soojin Jun, Joseph M. Irudayaraj. – London, New York : CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 2009. – 340 p. 3. Долінский, А. А. Наномасштабные эффекты при дискретно-импульсной трансформации энергии [Текст] / А. А. Долінский, Б. И. Басок // ИФЖ. – 2005 – Т.78, No 1. – С. 15–23. 4. Дубовкина, И. А. Моделирование процессов гидратации и структурирования этанола в условиях обработки ДИВЭ [Текст] / И. А. Дубовкина // "Восточно-Европейский журнал передовых технологий". – 2012. – No 6/6 (60). – С. 50–51. 5. Marcin, R. Influence of ions on molecular vibrations and hydrogen bonds in methanol–water mixtures: MD simulation study [Text] / Marcin Rybicki, Ewa Hawlicka // Original Research Article Journal of Molecular Liquids. – 2014. – Vol. 196. – P. 300–307. 6. Yves, Marechal. The Hydrogen Bond and the Water Molecule: The Physics and Chemistry of Water, Aqueous and Bio-Media [Text] / Marechal Yves // Elsevier Science & Technology, 2006. – 332 p. 7. Менделеев, Д. И. Растворы [Текст] / Д. И. Менделеев // Москва: Издательство Академии Наук СССР, 1959. – С. 256–274. 8. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с. 9. Техно-

логічний регламент на виробництво горілок і лікєро-горілочаних напоїв [Текст]: ТР У 18.5084-96. - К.: УкрНДспиртбіопрод, 1996. – 330 с. 10. Водка: технология, качество, инновации: монография [Текст] / О. В. Кузьмин [и др.]. – Донецк: ДонНУЭТ, 2011. – 307 с.

Bibliography (transliterated): 1. Rogov, I. A. (1988). Elektrofizicheskie metody obrabotki pishhevyykh produktov. Moscow : Agropromizdat, 272. 2. Food processing operations modeling. (2009). Design and analysis: edited by Soojin Jun, Joseph M. Irudayaraj. London, New York : CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 340. 3. Dolinskiy, A. A., Basok, B. I. (2005). Nanomasshtabnye efekty pri diskretno-impulsnoy transformacii energii. IFZh, T. 78, No 1, 15–23. 4. Dubovkina, I. A. (2012). Modelirovanie processov gidratatsii i strukturirovaniya etanola v usloviyax obrabotki DIVE. "Eastern-European Journal of Eenterprise Technologies", No 6/6 (60), 50–51. 5. Marcin, Rybicki, Ewa, Hawlicka (2014). Influence of ions on molecular vibrations and hydrogen bonds in methanol–water mixtures: MD simulation study. Original Research Article Journal of Molecular Liquids, Vol. 196, 300–307. 6. Yves, Marechal. (2006). The Hydrogen Bond and the Water Molecule: The Physics and Chemistry of Water, Aqueous and Bio-Media. Elsevier Science & Technology, 332. 7. Mendeleev, D. I. (1959). Rastvory. Moskva: Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR, 256–274. 8. Adler, Yu. P., Markova, E. V., Granovskij, Yu. V. (1976). Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh uslovij. Moskva: Nauka, 280. 9. Technologichnij reglament na virobniцtvo gorilok i likero-gorilchanix napoiv: TR U 18.5084-96. Kiev: UkrNDIspirtbioprod, 1996, 330. 10. Kuzmin, O. V. [i dr.]. (2011). Vodka: tehnologiya, kachestvo, innovacii: monografiya. Doneck: DonNUET, 307.

Надійшла (received) 15.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шурчкова Юлія Олександрівна – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник відділу тепломасообміну в дисперсних системах, Інститут технічної теплофізики НАН України; вул. Булаховського, 2а, м. Київ, Україна, 03164; тел.: (044) 424 14 96; e-mail: itff_tds@ukr.net.

Шурчкова Юлія Олександрівна – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела тепломассообмена в дисперсных системах, Институт технической теплофизики НАН Украины; ул. Булаховского, 2а, г. Киев, Украина, 03164; тел.: (044) 424 14 96; e-mail: itff_tds@ukr.net.

Shurchkova Juliya – Professor, Doctor of technical sciences, Chief Researcher, The department of heat and mass exchange in disperse systems, Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine; st. Bulakhovskogo 2a, Kyiv, Ukraine, 03164; e-mail: itff_tds@ukr.net.

Дубовкіна Ірина Олександрівна – кандидат технічних наук, с.н.с., старший науковий співробітник відділу тепломасообміну в дисперсних системах, Інститут технічної теплофізики НАН України; вул. Булаховського, 2а, м. Київ, Україна, 03164; тел.: 097-674-36-72; e-mail: idubovkina@yandex.ru.

Дубовкіна Ірина Олександрівна – кандидат технических наук, с.н.с., старший научный сотрудник отдела тепломассообмена в дисперсных системах, Институт технической теплофизики НАН Украины; ул. Булаховского, 2а, г. Киев, Украина, 03164; e-mail: idubovkina@yandex.ru.

Dubovkina Irina – Associate professor, Candidate of technical science, Principal research scientist The department of heat and mass exchange in disperse systems, Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine; st. Bulakhovskogo 2a, Kyiv, Ukraine, 03164; e-mail: idubovkina@yandex.ru.

УДК 621.793.7

О. КАНАЛЕС, А. А. ЛИТВИНОВ, А. О. ВОЛКОВ, С. Е. МАРКОВИЧ, А. И. ДОЛМАТОВ

АДИАБАТИЧЕСКАЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ СОПЛА ХОЛОДНОГО НАПЫЛЕНИЯ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Изучение газодинамических характеристик процесса, как правило, проводится через адиабатические газодинамические модели и гидродинамические вычисления. В данной работе, представлена инновационная адиабатическая газодинамическая модель для расчета энергетических параметров потока в сопле при использовании метода холодного напыления низкого давления. Адиабатическая газодинамическая модель, представленная в этой работе, предназначена для изучения неправильной геометрии сопла. Результаты параметров потока газа через сопло используются для расчета скорости частиц и температуры коммерчески доступных порошкообразных материалов.

Ключевые слова: газодинамическая модель, число Маха, процесс холодного напыления, геометрия сопла.

© О. Каналес, А. А. Литвинов, А. О. Волков, С. Е. Маркович, А. И. Долматов. 2015

Введение. Чтобы произвести покрытия методом холодного напыления необходимо ускорить частицы металлического порошка до высоких скоростей посредством сверхзвукового потока газа воспользовавшись силами сопротивления, полученными при взаимодействии частиц с потоком газа и теплом, передаваемого к частицам. Многие лаборатории по всему миру работают над оптимизацией газового потока с целью достижения более высоких скоростей и температуры частиц.

Так как в процессе холодного напыления скорость частиц является основным параметром, отвечающим за напыление порошка важно понять в первую очередь как параметры процесса (рабочий газ, давление и температура) и геометрия сопла влияют на ускорение частиц. В полете скорость частицы через сопло может быть ограничена только скоростью газа, а некоторые параметры помогают частицам легче достичь скорости газа. Использование более высоких давлений, длинных сопел, высоких температур газа, мелких частиц и газа с низкой молекулярной массой может улучшить ускорение частиц. При практическом использовании, желательнее применение более низкого давления и более низких рабочих температур,

чтобы уменьшить поток газа и эксплуатационные затраты.

В этом исследовании анализируется общая изоэнтропическая модель газовой динамики на оборудовании для холодного напыления низкого давления ДИМЕТ 405. Цель этого анализа, определить скорость в полете и температуру выбранных порошковых материалов С-01-11, А-20-11 и N7-00-14.

В целях упрощения анализа, смеси порошкового материала данного исследования предполагаются, что частицы сферической формы и без примесей, имеющие те же физические свойства, как в начальном состоянии заготовки. Таблица 1 содержит свойства коммерческих порошков, предоставленных Обнинским центром порошкового напыления (ОЦПН). В модели, первоначально газовый поток вводится через сопло, чтобы впоследствии рассчитать воздействие газа на нагрев частиц и их ускорение.

Рис. 1 иллюстрирует сопло ДИМЕТ 405 СК-20 для холодного напыления низкого давления. Общая гидродинамика изоэнтропической модели не учитывает пограничный слой, который развивается вдоль внутренних стенок сопла, по этой причине данная модель применима только с теоретической точки зрения.

Таблица 1 – Состав композиционных порошков на металлической матрице Обнинского центра порошкового напыления (ОЦПН)

Код порошка	Процент содержания материала и размер	Процент содержания цинка и размер	Процент содержания корунда и размер
С-01-11	65% wt. Cu Размер: 20мкмSD 5	25% wt. Zn Размер: 10 мкмSD 5	10% wt. AL ₂ O ₃ Размер: 22 мкмSD 7
А-20-11	60% wt. AL Размер: 22 мкмSD 6	25% wt. Zn Размер: 10 мкмSD 5	15% wt. AL ₂ O ₃ Размер: 22 мкмSD 7
N7-00-14	65% wt. Ni Размер: 25 мкмSD 8	25% wt. Zn Размер: 10 мкмSD 5	10% wt. AL ₂ O ₃ Размер: 22 мкмSD 7

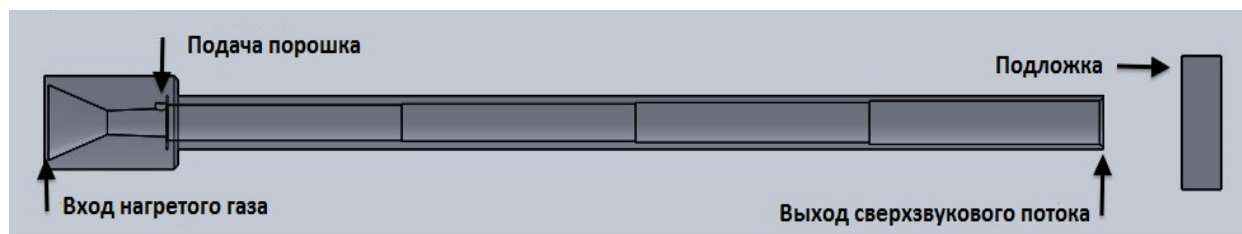


Рис. 1 – Сопло СК-20 для холодного напыления низкого давления установки ДИМЕТ 405

Анализ литературных данных и постановка проблемы. С целью изучения процессов холодного напыления в первую очередь, чтобы изучить процесс холодного напыления используется изоэнтропическая модель газового потока, которая подробно описана в [1-3]; эта модель предполагает, что поток изоэнтропичен (поток является адиабатическим и не имеет трения) по этой же причине эта модель не учитывает наличие пограничного слоя на стенках сопла, где газ движется медленнее, чем в центральной части сопла и, как правило, показывает более высокие результаты, чем полученные из экспериментальных [4] данных. Параметры газа (полная температура и давление торможения) напрямую зависят от геометрии сопла и являются функцией от числа Маха при их ускорении в расширяющейся части сопла. При попадании потока в канал сопла, он ускоряется или тормозится в зависимости от площади поперечного сечения. Геометрия оптимальной расширяющейся части сопла рассчитывается аналитически. В данных работах не рассматриваются сопла с нестандартной геометрией.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является изучение газодинамических характеристик процесса холодного напыления низкого давления.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи :

1. Создание адиабатической газодинамической модели для расчета энергетических параметров потока в сопле нестандартной формы при использовании метода холодного напыления низкого давления.

2. Расчет скорости частиц и температуры коммерчески доступных порошкообразных материалов.

Материалы и методы исследования газодинамических характеристик процесса холодного напыления низкого давления. С целью определения энергетических параметров в сопле (давление, температура, число Маха и др.), была разработана одномерная газодинамическая модель. Данная модель была адаптированная под число Маха, которое увеличивается при расширении воздушного потока в расши-

ряжущей части сопла Лавалья [5-9]. В данной модели приняты следующие допущения:

- Течение газа принимается одномерным и изотропическим (адиабатное и без учета сил трения);
- Рассматривается идеальный газ;
- Теплоемкость принимается постоянной величиной.

С целью определения свойств сверхзвукового потока, получаемого при прохождении сопла СК-20 установки ДИМЕТ, его внутренний диаметр был измерен и значения координаты “Y” рассматривается как радиус сопла, а значения координаты “X” как расстояние от критического сечения сопла до его выходного сечения. С целью определения числа Маха вдоль сопла, необходимо решение соотношения 1 площадь-число Маха [6].

$$\frac{A}{A^*} = f_A(M) = \frac{1}{M} \left[\frac{2+(k-1)M^2}{k+1} \right]^{\frac{k+1}{2(k-1)}}, \quad (1)$$

где A – площадь сопла в данной точке, A* – площадь поперечного сечения сопла, M – число Маха, равное единице в критическом сечении, k – коэффициент теплоемкости; эта площадь рассчитывается при измерении координаты “Y” для радиуса внутреннего диаметра в каждой точке сопла.

После расчета числа Маха по всей длине от критического сечения сопла до его выхода, рассчитывается плотность газа ρ_0 с помощью уравнения 2,

$$\rho_0 = \frac{P_0}{RT_0}, \quad (2)$$

где P_0 – давление торможения, T_0 – температура торможения R – универсальная газовая постоянная. Используя полученные значения числа Маха и плотности газа, при помощи уравнений 3-5 рассчитываются температура T и давление P,

$$\frac{\rho}{\rho_0} = f_\rho(M) = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{-\frac{1}{k-1}}, \quad (3)$$

$$\frac{T}{T_0} = f_T(M) = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{-1} \quad (4)$$

$$\frac{P}{P_0} = f_P(M) = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{-\frac{k}{k-1}}, \quad (5)$$

где величины с “0” – значения параметров торможения.

Скорость звука a и скорость газа V рассчитывается по формулам 6-7,

$$a = \sqrt{kRT}, \quad (6)$$

$$v = aM. \quad (7)$$

Вязкость газа μ рассчитывается при помощи температуры Сатерленда T_s (120 К для воздуха) и комнатной температуре μ_0 (уравнение 8),

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T}{273} \right)^{1.5} \frac{273+T_s}{T+T_s}. \quad (8)$$

Для определения скорости частиц используется дифференциальное уравнение 9 [10], которое решается методом конечных разностей,

$$V_p \frac{dV_p}{dz} = \frac{3}{4} C_D \frac{\rho(v-V_p)|v-V_p|}{\rho_p d_p}, \quad (9)$$

где V_p – скорость частицы, C_D – коэффициент сопротивления частицы, ρ_p – плотность частицы и d_p – диаметр частицы.

Для расчета температуры частиц используются следующие уравнения 10-15 [10-13],

$$\rho_p V_p C_p \frac{dT_p}{dz} = Nu \frac{6\lambda}{d_p^2} (T - T_p), \quad (10)$$

$$Nu = 2a + 0.459b Re_p^{0.55} Pr^{0.33}, \quad (11)$$

$$a = \exp(-M_p)(1 + 17M_p/Re_p)^{-1}, \quad (12)$$

$$b = 0.666 + 0.333 \exp(-17M_p/Re_p), \quad (13)$$

$$Re_p = (v - V_p)\rho d_p/\mu \quad (14)$$

$$M_p = (v - V_p)/a. \quad (15)$$

где T_p – температура частицы, Nu – число Нюсельта, λ – длина волны между двумя соседними вершинами распространения струи (в нашем случае 8 мм), Re_p – число Рейнольдса частицы и M_p – число Маха частицы.

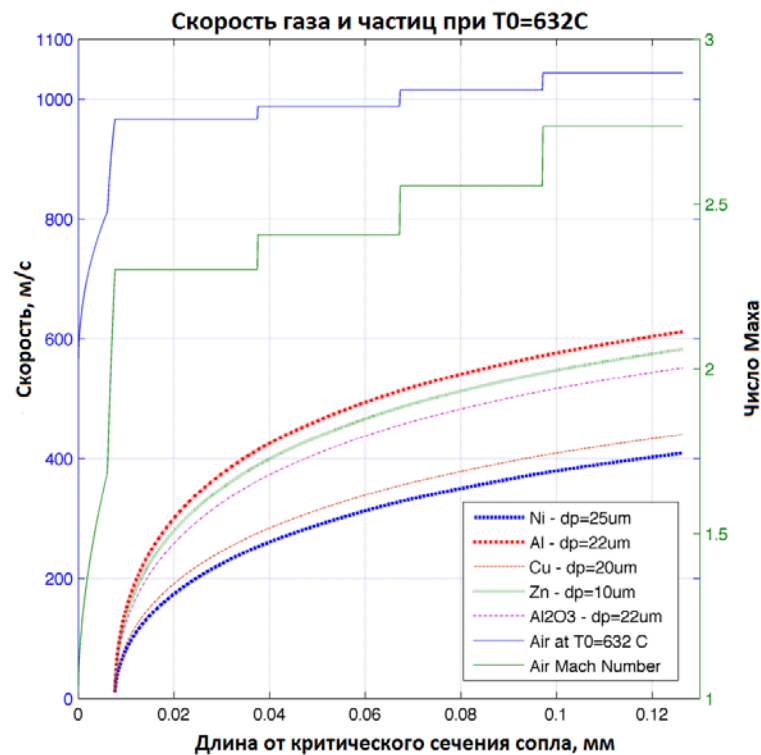
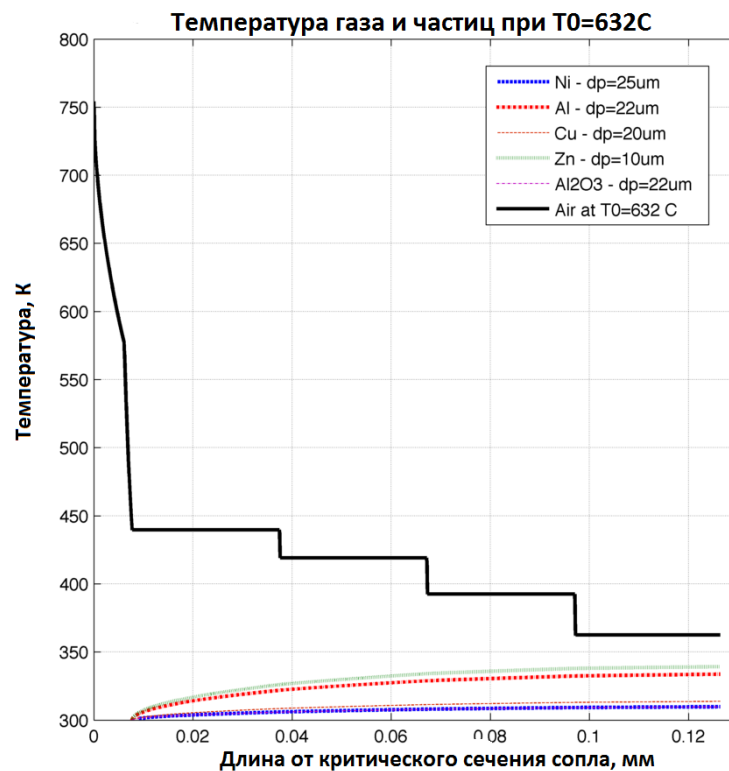
Представленная модель не учитывала влияние трения на стенках сопла, так как рассматривался идеальный вариант сверхзвукового течения. В реальном течении часть газовой струи, протекающей возле стенок сопла, имеет меньшие значения скорости в результате трения [6]. Это уменьшение скорости формирует пограничный слой особой толщины, в котором скорость газа изменяется от 0 до примерно 99 % от максимальной скорости газа. В сопле Лавалья число Маха изменяется на участке, в котором скорость газа рассматривается максимальной. По этой причине, когда пограничный слой изменяется по длине сопла, вполне нормально наблюдать уменьшение числа Маха с уменьшением эффективной площади сопла.

Были проведены эксперименты, выполненные с целью определения влияния толщины пограничного слоя на число Маха расширяющегося газа. Эксперименты проводились с использованием трубки Пито на выходе из сопла установки холодного газодинамического напыления низкого давления ДИМЕТ 405.

В ходе экспериментов были измерены полное q_c и статическое p_s давления, а также изменение числа Маха M при помощи уравнения 16,

$$\frac{q_c}{p_s} = \left(\frac{k+1}{2} M^2 \right)^{\frac{k}{k-1}} \cdot \left(\frac{k+1}{1-k+2kM^2} \right)^{\frac{1}{k-1}}. \quad (16)$$

Результаты исследования газодинамических характеристик процесса холодного напыления низкого давления. На рис. 2, 3 изображены результаты расчета адиабатической модели. Как видно при росте числа Маха и снижении температуры скорость газа и частиц возрастает.

Рис. 2 – Скорость частиц и газа относительно числа Маха при $T_0=632\text{C}$ и $P_0=0.8\text{МПа}$ Рис. 3 – Скорость частиц и газа относительно температуры газа при $T_0=632\text{C}$ и $P_0=0.8\text{МПа}$

На рис. 4 представлены результаты измерений, полученные в ходе эксперимента при различных температурах торможения; видно, что температура торможения не влияет на число Маха, несмотря на то, что пограничный слой есть функцией от скорости газа.

Существует также погрешность определения числа Маха с использованием трубки Пито. Эта погрешность находится в пределах $\pm 5\%$ и обусловлена потерями полного давления газа в сопле.

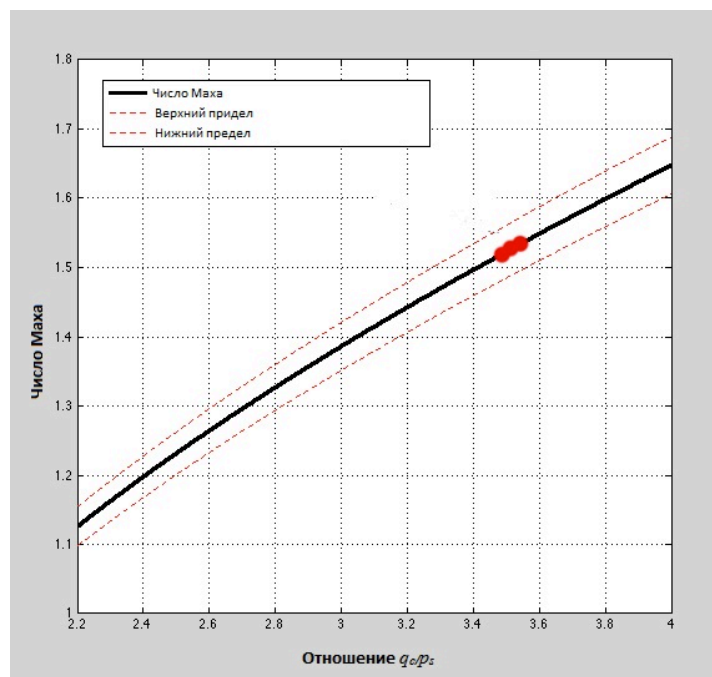


Рис. 4 – Дані динамічного та статичного тисків, отриманих за допомогою трубки Піто

Обсуждение результатов исследования газодинамических характеристик процесса холодного напыления низкого давления. Как ясно из уравнения 9 главными факторами, влияющими на скорость частиц, являются скорость и плотность газа носителя, но они находятся в противостоянии друг к другу, так как для роста скорости необходимо повышать температуру газа, а это в свою очередь уменьшает плотность газа и соответственно его способность ускорять частицы.

Число Маха на выходе из сопла СК-20 находится в диапазоне от 1,5 до 1,55. Так как экспериментальные значения числа Маха значительно ниже, чем идеальные значения, рассчитанные с помощью адиабатической модели, представленной в предыдущем пункте, целесообразно сделать вывод что пограничный слой в отдельности влияет на изменение числа Маха при расширении газа.

Выводы. В данной работе была представлена изоэнтропическая модель газовой динамики для расчета энергетических параметров сверхзвукового потока воздуха, проходящего через нестандартные сопла Лавала. Были рассчитаны сверхзвуковые параметры газа на основе числа Маха и отношения площади канала с использованием стандартных термодинамических соотношений для скорости газа, температуры, вязкости, плотности и т.д., в зависимости от развиваемых чисел Маха через сопло. Было изучено взаимодействие газа с частицами выбранных порошковых материалов для расчета их скорости в полете и температуры. В целом, представленная модель не учитывает толщины пограничного слоя, развивающегося по длине сопла за счет сил трения; по этой причине, она не может быть использована для практических целей, так как толщина пограничного слоя, как правило, влияет на развитие числа Маха, поскольку эффективная площадь канала уменьшается. Несмотря на непрacticalное применения модели, она представляет

собой новый подход для расчета энергетических параметров сверхзвукового потока газа через сопла Лавала с нестандартной геометрией. Рекомендуется дальнейшее развитие, для вычисления влияния толщины развивающегося пограничного слоя вдоль длины сопла.

Список литературы: 1. Alkhimov, A. P. Gas Dynamic Spraying Method for Applying a Coating [Text] / A. P. Alkhimov, A. N. Papyrin, V. F. Dosarev, N. I. Nesterovich, M. M. Shuspanov // U. S. patent. – 12 April 1994. – P. 5,302,414. 2. Tokarev, A. O. Structure of Aluminum Powder Coatings Prepared by Cold Gasdynamic Spraying [Text] / A. O. Tokarev // Met. Sci. Heat Treat. – 1996. – Vol. 38. No 3–4. – P. 136–139. 3. Alkhimov, A. P. A Method of Cold Gas-Dynamic Deposition [Text] / A. P. Alkhimov, V. E. Kosareve, and A. N. Papyrin // Dokl. Akad. Nauk SSSR. – 1990. – Vol. 315. No 5. – P. 1062–1065. 4. McCune, R. C. An Exploration of the Cold Gas-Dynamic Spray Method for Several Materials Systems [Text] / R. C. McCune, A. N. Papyrin, J. N. Hall, W. L. Riggs, and P. H. Zajchowski // Thermal Spray Science and Technology C. C. Berndt and S. Sampath, Ed., ASM International. – 1995. – P. 1–5. 5. Pattison, J. Cold Gas Dynamic Manufacturing: a Non-Thermal Approach to Freeform Fabrication [Text] / Pattison J, Celotto S, Morgan R, Bray M and O'Neill W // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2007. – Vol. 47 (3–4). – P. 627–634. 6. Anderson, John D. Modern Compressive Flow by Anderson [Text] / John D. Anderson // McGraw-Hill, 1990. 7. McCune, R. C. Characterization of Copper and Steel Coatings Made by the Cold Gas-Dynamic Spray Method [Text] / R. C. McCune, W. T. Donoon, E. L. Cartwright, A. N. Papyrin, E. E. Rybicki, and J. R. Shadley // Thermal Spray Science and Technology, C. C. Berndt and S. Sampath, Ed., ASM International. – 1995. – P. 397–403. 8. Bishop, C. V. Practical Pollution Abatement Methods for Metal Finishing [Text] / C. V. Bishop and G. W. Loar // Plat. Surf. Finish. – 1993. – Vol. 80. No 2. – P. 37–39. 9. Shapiro, A. H. The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow [Text] / A. H. Shapiro // Ronald Press. – 1953. 10. Papyrin, A. N. 'Cold Spray Technology' [Text] / A. N. Papyrin // Advanced Materials & Processes, 2001. 11. Dykhuizen, R. C. Investigations into the Plasma Spray Process [Text] / R. C. Dykhuizen and M. E. Smith // SurS Coat. Technol. – 1989. – Vol. 37. No 4. – P. 349–358. 12. Neiser, R. A. Wire Melting and Droplet Atomization in a High Velocity Oxy-Fuel Jet [Text] / R. A. Neiser, J. E. Brockman, T. J. Ohern, M. E. Smith, R. C. Dykhuizen, T. J. Roemer, and R. E. Teets // Thermal Spray Science and Technology, C. C. Berndt and S. Sampath, Ed., ASM International. – 1995. – P. 99–104. 13. Henderson, C. B. Drag Coefficients of Spheres in Continuum and Rarefied Flows [Text] / C. B. Henderson // AIAA J. – 1976. – Vol. 14. – P. 707–708.

- Bibliography (transliterated):** 1. *Alkhimov, A. P.* (1994). Gas Dynamic Spraying Method for Applying a Coating. U.S. patent, 5,302,414. 2. *Tokarev, A. O.* (1996). Structure of Aluminum Powder Coatings Prepared by Cold Gasdynamic Spraying. *Met. Sci. Heat Treat.*, Vol. 38, No. 3–4, 136–139. 3. *Alkhimov, A. P., Kosareve, V. E., Papyrin, A. N.* (1990). A Method of Cold Gas-Dynamic Deposition. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, Vol. 315, No 5, 1062–1065. 4. *McCune, R. C., Papyrin, A. N., Hall, J. N., Riggs, W. L., Zajchowski, P. H.* (1995). An Exploration of the Cold Gas-Dynamic Spray Method for Several Materials Systems Thermal Spray Science and Technology C. C. Berndt and S. Sampath, Ed., ASM International, 1–5. 5. *Pattison, J., Celotto, S., Morgan, R., Bray, M., O'Neill, W.* (2007). Cold Gas Dynamic Manufacturing: a Non-Thermal Approach to Freeform Fabrication *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47 (3–4), 627–634. 6. *Anderson, John D.* (1990). Modern Compressive Flow by Anderson, McGraw-Hill. 7. *McCune, R. C., Donoon, W. T., Cartwright, E. L., Papyrin, A. N., Rybicki, E. E., Shadley, J. R.* (1995). Characterization of Copper and Steel Coatings Made by the Cold Gas-Dynamic Spray Method Thermal Spray Science and Technology, C. C. Berndt and S. Sampath, Ed., ASM International, 397–403. 8. *Bishop, C. V., Loar, G. W.* (1993). Practical Pollution Abatement Methods for Metal Finishing *Plat. Surf. Finish.*, Vol. 80, No 2, 37–39. 9. *Shapiro, A. H.* (1953). The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow. Ronald Press. 10. *Papyrin, A. N.* (2001). 'Cold Spray Technology'. *Advanced Materials & Processes*. 11. *Dykhuizen, R. C., Smith, M. E.* (1989). Investigations into the Plasma Spray Process. *Surf Coat. Technol.*, Vol. 37, No 4, 349–358. 12. *Neiser, R. A., Brockman, J. E., Ohern, T. J., Smith, M. E., Dykhuizen, R. C., Roemer, T. J., Teets, R. E.* (1995). Wire Melting and Droplet Atomization in a High Velocity Oxy-Fuel Jet. *Thermal Spray Science and Technology*, C. C. Berndt and S. Sampath, Ed., ASM International, 99–104. 13. *Henderson, C. B.* (1976). Drag Coefficients of Spheres in Continuum and Rarefied Flows *AIAA J.*, Vol. 14, 707–708.

Поступила (received) 15.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Каналес Орасіо – аспірант, Кафедра технології виробництва авіаційних двигунів, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», вул. Чкалова, 17, г. Харків, Україна, 61070, тел.: 093-545-90-72; e-mail: horaciocanales@gmail.com.

Каналес Орасіо – аспірант, Кафедра технологии производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070, тел.: 093-545-90-72; e-mail: horaciocanales@gmail.com.

Canales Horacio – aspirant (PhD Candidate), Department of aircraft engines manufacturing, National Aerospace University of Ukraine N.E Zhukovskogo “KhAI”, Chkalova street, 17, Kharkov, Ukraine, 61070, 61070, tel.: 093-545-90-72; e-mail: horaciocanales@gmail.com.

Литвинов Артем Анатолійович – аспірант, Кафедра технології виробництва авіаційних двигунів, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», вул. Чкалова, 17, г. Харків, Україна, 61070, тел.: 066-474-32-24; e-mail: artemlitvi@yandex.ru.

Литвинов Артем Анатолиевич – аспірант, Кафедра технологии производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070, тел.: 066-474-32-24; e-mail: artemlitvi@yandex.ru.

Lytvynov Artem Anatolyevich – aspirant (PhD Candidate), Department of aircraft engines manufacturing, National Aerospace University of Ukraine N.E Zhukovskogo “KhAI”, Chkalova street, 17, Kharkov, Ukraine, 61070, tel.: 066-474-32-24; e-mail: artemlitvi@yandex.ru.

Волков Андрій Олегович – аспірант, Кафедра технології виробництва авіаційних двигунів, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», вул. Чкалова, 17, г. Харків, Україна, 61070, тел.: 099-664-10-07; e-mail: Volkov Andrey O@mail.ru.

Волков Андрей Олегович – аспірант, Кафедра технологии производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070, тел.: 099-664-10-07; e-mail: Volkov Andrey O@mail.ru.

Volkov Andrew Olegovich – aspirant (PhD Candidate), Department of aircraft engines manufacturing, National Aerospace University of Ukraine N.E Zhukovskogo “KhAI”, Chkalova street, 17, Kharkov, Ukraine, 61070, tel.: 099-664-10-07; e-mail: Volkov Andrey O@mail.ru.

Маркович Сергій Євгенійович – кандидат технічних наук, доцент, Кафедра технології виробництва авіаційних двигунів, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», вул. Чкалова, 17, г. Харків, Україна, 61070, тел.: 099-128-44-07; e-mail: inv-project2006@yandex.ru.

Маркович Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, Кафедра технологии производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070, тел.: 099-128-44-07; e-mail: inv-project2006@yandex.ru.

Markovych Sergey Evgenievich – candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of aircraft engines manufacturing, National Aerospace University of Ukraine N.E Zhukovskogo “KhAI”, Chkalova street, 17, Kharkov, Ukraine, 61070, tel.: 099-128-44-07; e-mail: inv-project2006@yandex.ru.

Долматов Анатолій Іванович – доктор технічних наук, професор, Кафедра технології виробництва авіаційних двигунів, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», вул. Чкалова, 17, г. Харків, Україна, 61070, тел.: 067-939-02-89; e-mail: dolmatov.ai@yandex.ru.

Долматов Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, Кафедра технологии производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070, тел.: 067-939-02-89; e-mail: dolmatov.ai@yandex.ru.

Dolmatov Anatoly Ivanovich – doctor of Technical Sciences, Professor, Department of aircraft engines manufacturing, National Aerospace University of Ukraine N.E Zhukovskogo “KhAI”, Chkalova street, 17, Kharkov, Ukraine, 61070, tel.: 067-939-02-89; e-mail: dolmatov.ai@yandex.ru.

УДК 665.383

В. С. КАЛИНА, К. В. КУНИЦЯ, Ф. Ф. ГЛАДКИЙ, М. В. ЛУЦЕНКО, О. А. ЛИТВИНЕНКО

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ УМОВ ФРАКЦІЙНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЖИРНОЇ КОРИАНДРОВОЇ ОЛІЇ

Стаття присвячена визначенню раціональних умов фракціонування жирної коріандрової олії із розплаву. Визначено основні закономірності фракційної кристалізації олії. Отримано математичні описи залежності виходу цільової фракції і її температури плавлення від основних параметрів процесу, а саме: темпу охолодження та тривалості кристалізації. Встановлено, що в результаті процесу фракційної кристалізації жирної коріандрової олії одержано дві фракції: жир спеціального призначення відповідно до ДСТУ 4335:2004, а саме – хлібопекарського, та рідка фракція (рідка олійна), яка може бути застосована як олія салатна, як олія для консервної промисловості та мати інші харчові призначення.

Ключові слова: жирна коріандрова олія, фракційна кристалізація, температура плавлення, розплав, ортогональний центральньо-композиційний план.

Вступ. Перед олійно-жировою та супутніми галузями стає гостре питання отримання жирів, що не лише будуть відповідати нормативній документації та стандартним вимогам, а й зможуть бути використані в інших галузях харчової промисловості, що вкрай потребують якісної та недорогої сировини. Вирішення проблеми нестачі кондитерських, кулінарних, хлібопекарських жирів та жирів для молочної промисловості в Україні в значній мірі відбувається за рахунок імпорту. Найбільш гострою ця проблема стала завдяки обмеженню вмісту транс-ізомерів мононенасичених жирних кислот у харчових продуктах, а відтак і обмеження застосування гідрогенізованих олій. Тому використання вітчизняної сировини для одержання згаданих жирів без будь-якої хімічної обробки є актуальним і доцільним.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Харчові жири і олії є складними багатокомпонентними сумішами різноманітних триацилгліцеринів, склад яких залежить від сировини, з якої вони були вилучені [1]. Вони можуть бути розділені на декілька фракцій з метою отримання нових сировинних матеріалів, що мають більш широкі функціональні і технологічні властивості, ніж натуральні продукти.

У зв'язку зі специфікою жирнокислотного складу жирну коріандрову олію до теперішнього часу піддавали повній неселективній гідрогенізації з метою отримання низькоодного саломасу для виробництва стеаринової кислоти [2]. Разом з тим, така особливість складу жирної коріандрової олії дає можливість застосувати до неї фізичний процес модифікації – фракціонування, який не потребує хімічних реагентів та має безліч переваг.

Фракціонування є процесом зворотньої термомеханічної сепарації, під час якого під дією контрольованого охолодження і механічної обробки відбувається формування твердої фази (кристалів) розплаву жиру з наступною фільтрацією і розділенням початкової сировини на дві фракції – кристалічну та рідку олійну [3, 4]. Фракційна кристалізація – розділення жирів на групи триацилгліцеринів за температурою застигання, є одним із старіших методів модифікації жирів [5 – 7], який полягає в поступовому охолодженні жиру або олії за допомогою холодного повітря або рідкого хладагенту. Фракціонування натуральних ацилгліцеринів приводить до виділення з початкової речовини менш складних груп ацилгліцеринів, які відрізняються між собою за величиною йодного числа, числа омилення та температурою плавлення [8]. У процесі фрак-

ціонування жири і олії поділяють на фракції з різними ступенями твердості, температурами плавлення та різноманітним складом триацилгліцеринів. Оскільки, властивості плавлення і температура помутніння жирів є важливими показниками їх функціональності в різних харчових продуктах, то поділ жиру або олії на фракції дозволяє отримати два або більше продукти з різною функціональністю із одного початкового жирового продукту.

Процес фракціонування можна розділити на наступні послідовні стадії: охолодження олії нижче температури кристалізації для утворення центрів кристалізації в результаті переохолодження; поступове зростання кристалів і їх виділення з рідкої фази; поділ кристалічної та рідкої фаз.

Ступінь поділу рідкої і твердої фракції залежить, насамперед, від методу охолодження, який визначає форму і розмір кристалів. Жири та олії є поліморфними речовинами і кристалізуються в декількох поліморфних формах, як правило α , β і β' . У цьому порядку змінюється стабільність, температура плавлення, та густина поліморфних форм. Так при швидкому охолодженні розплаву утворюється α -модифікація, при помірному – β' , при повільному – β [9]. Швидкий темп охолодження викликає сильне переохолодження, яке призводить до утворення великої кількості дрібних, безформних, м'яких кристалів змішаного типу, які погано відділяються при фільтруванні [10].

Важливими стадіями процесу фракціонування, яким приділяють пильну увагу, є кристалізація та наступне розділення отриманих фракцій.

Кристалізація жиру відбувається у дві стадії: утворення центрів кристалізації (зародків кристалізації) та зростання кристалів.

Швидкість і характер кристалізації триацилгліцеринів залежать від ступеню очищення жиру, оскільки моно- та діацилгліцерини, фосфоліпіди та інші полярні домішки гальмують кристалізацію [11]. Істотною вимогою процесу кристалізації є повільний темп охолодження. Швидкий темп охолодження олії призводить до наступних наслідків: утворення великої кількості дуже маленьких кристалів; висока швидкість зародження центрів кристалізації, внаслідок чого збільшується в'язкість, що в свою чергу призводить до обмеженого зростання кристалів [12].

На швидкість зростання кристалів впливає температура кристалізації. Висока в'язкість олії, яка спостерігається при дуже низькій температурі, знижує швидкість зростання кристалів. Контроль температури після початку кристалізації дуже важливий для переходу від α -форми кристалів до стійкої β або β' -форми.

Темп охолодження є головним чинником, що визначає розмір, кількість і стабільність утворених кристалів. Взагалі кристали приймають найбільш досконалі і характерні форми при повільному вирощуванні з розплаву або розчину з незначним переохолодженням [13].

Швидкість зростання кристалів залежить від температури кристалізації та тривалості процесу. Ретельний підбір параметрів процесу дуже важливий для кожного виду олії. З метою кращого відокремлення фракцій фільтруванням в процесі фракційної кристалізації має утворюватися невелика кількість центрів кристалізації, навколо яких при охолодженні формуватимуться великі кристали. При виникненні великої кількості центрів кристалізації утвориться велика кількість дрібних кристалів, що важко будуть відокремлюватися при фільтруванні. Недостатньо повне розділення і низький вихід також спостерігаються при утворенні скупчень кристалів, які утримують велику кількість рідкої фази [14].

Мета дослідження. Метою роботи є визначення основних закономірностей і раціональних умов фракціонування жирної коріандрової олії із розплаву та отримання залежностей виходу цільової фракції і її температури плавлення від основних параметрів процесу.

Методика дослідження фракційної кристалізації жирної коріандрової олії. З метою максимального скорочення термінів проведення експериментів, зменшення витрат матеріалів і енергії та отримання при цьому такої математичної моделі, яка б адекватно описувала відповідний процес, доцільно використовувати методи планування експерименту. В роботі використано центральне композиційне ортогональне планування другого порядку (ЦКОП) з наступним математичним моделюванням в програмних пакетах MathCad і Microsoft Excel.

Для можливості статистичної обробки даних досліді в центрі плану проведено у трьох паралелях. Розрахунок помилки досліду за паралельними дослідями в центрі плану виконано за формулою (1):

$$S_0^2 = \frac{\sum_{k=1}^{N_0} (y_{0k} - \bar{y}_0)^2}{(N_0 - 1)}, \quad (1)$$

де \bar{y}_0 , y_{0k} , $k=1, \dots, N_0$ – значення вихідного параметру у паралельних дослідях;

N_0 – число дослідів в центрі плану ($N_0 = 3$).

Вихідний параметр \bar{y}_0 розраховано за формулою (2):

$$\bar{y}_0 = \frac{\sum_{k=1}^{N_0} y_{0k}}{N_0}. \quad (2)$$

Обчислення коефіцієнтів рівняння регресії здійснено за формулами (3 – 6):

$$b'_0 = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N}, \quad (3)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}, \quad (4)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{iu} \cdot x_{ju})^2}, \quad (5)$$

$$b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^N x'_{iu} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x'_i)^2}. \quad (6)$$

де $i = 0, 1, \dots, n$; N – кількість дослідів ($N = 9$); n – число стовпців матриці планування.

Дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії та розрахункових значень критерію Стьюдента обчислено за формулами (7–10):

$$S_{b'_0} = \sqrt{\frac{S_0^2}{N}}, \quad (7)$$

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}}, \quad (8)$$

$$S_{b_{ij}} = \sqrt{\frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^N (x_{iu} \cdot x_{ju})^2}}, \quad (9)$$

$$S_{b_{ii}} = \sqrt{\frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^N (x'_i)^2}}. \quad (10)$$

Розрахункове значення критерію Стьюдента визначено за формулами (11–13):

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}, \quad (11)$$

$$t_{ijp} = \frac{|b_{ij}|}{S_{b_{ij}}}, \quad (12)$$

$$t_{iip} = \frac{|b_{ii}|}{S_{b_{ii}}}. \quad (13)$$

Перевірка значимості коефіцієнтів рівняння регресії чиняться так. Табличне значення критерію Стьюдента знаходимо за таблицею [15] залежно від $q = 0,05$ та $f_0 = N_0 - 1$.

Далі порівнюємо розраховані значення критерію Стьюдента з табличним для оцінки значимості коефіцієнтів рівняння регресії. Якщо t_{ip} , t_{ijp} , $t_{iip} \geq t_{0(q, f)}$, то коефіцієнт вважається значимим, якщо ні, то коефіцієнт приймається рівним нулю, тобто відповідний фактор або взаємодія факторів виключається з рівняння регресії.

Розрахункове значення вихідного параметру за рівнянням регресії, тобто розрахунок значення дисперсії адекватності здійснено так:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (y_u - \hat{y}_u)^2}{(N-l)}, \quad (14)$$

де \hat{y}_i – значення вихідного параметру, розраховане за отриманим рівнянням регресії; L – число значимих коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Розрахункове значення критерію Фішера визначено за формулою (15):

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_0^2}, \quad (15)$$

Табличне значення критерію Фішера знаходимо за таблицею [16] в залежності від $q = 0,05$, $f_{ad} = N - L$ та $f_0 = N_0 - 1$.

Далі порівнюємо розраховане значення критерію Фішера з табличним. Якщо $F_{pt} < F_0(q_{дл}, f)$, то

нелінійна модель вважається адекватною, її можна використовувати для побудови оптимуму та визначення координати оптимуму процесу.

На підставі відповідних розрахунків знайдено значення функцій відгуку та одержано криві регресії.

Експериментальні дані та їх обробка. Результати попередніх досліджень щодо складу ацилгліцеринів зразків ЖКО підтверджують наявність в ній тригліцеридів розелінових гліцеридів (РєРєРє) – 41,80 % [17], що складають основу жирів кондитерських, кулінарних, хлібопекарських та для молочної промисловості.

Дослідження процесу кристалізації ЖКО у приладі Жукова, результати яких представлено на рис. 1, показали, що на кривій застигання спостерігається один чітко виражений пік в інтервалі температур 4–6 °С, який свідчить про вивільнення теплового ефекту фазового переходу жиру та відповідає кристалізації високоплавких триацилгліцеринів. Таким чином, можна стверджувати, що температура фракціонування для жирної коріандрової олії знаходиться в діапазоні 4–6 °С.

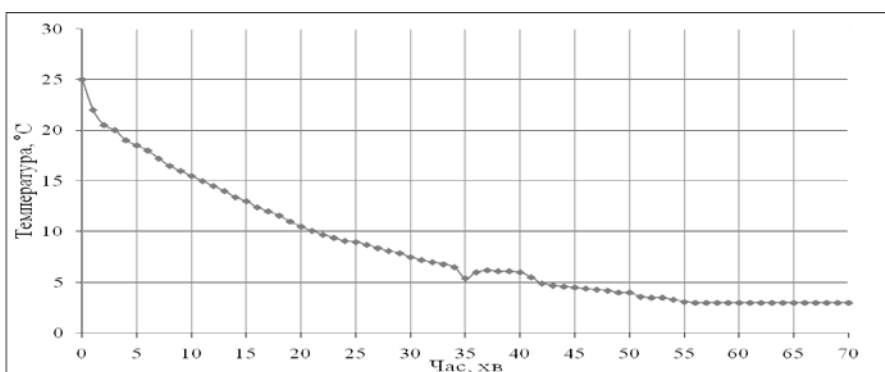


Рис. 1 – Залежність температури жирної коріандрової олії (°C) від часу охолодження у приладі Жукова (хв)

В серії дослідів (всього 9) нагріту жирну коріандрову олію охолоджували із заданою швидкістю та витримували певний час, потім фільтрували під вакуумом (або можна центрифугувати) та одержували дві фракції – рідку та цільову (кристалічну). Аналізуючи цільову фракцію, визначали її вихід (Y , %) та температуру плавлення (Z , °C). Ці показники і обрано параметрами відгуку у матриці планування. Умови проведення досліджень представлено у табл. 1.

Матриця планування експерименту у натуральному і кодованому вигляді факторів та його результати представлено в табл. 2.

Таблиця 1 – Умови проведення досліджень

Фактори	Швидкість охолодження, °C/год	Тривалість кристалізації, год
Код	X_1	X_2
Основний рівень, X_{i0}	2	16
Інтервал варіювання, ΔX	1	8
Верхній рівень, +1	3	24
Нижній рівень, -1	1	8
Верхня зіркова точка, +1	3	24
Нижня зіркова точка, -1	1	8

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту та його результати

№ дослідів	Фактори в натуральному вигляді		Фактори в кодованому вигляді		Результати експерименту	
	Швидкість охолодження, °C/год	Тривалість кристалізації, год	X_1	X_2	Вихід цільової фракції, % Y	Температура плавлення фракції, °C Z
1	2	3	4	5	6	7
1	1	8	-1	-1	10,40	22,9
2	3	8	+1	-1	10,10	22,5
3	1	24	-1	+1	24,35	18,9
4	3	24	+1	+1	13,50	19,4
5	1	16	-1	0	25,01	18,4
6	3	16	+1	0	13,20	23,6
7	2	8	0	-1	11,10	18,3
8	2	24	0	+1	23,20	17,1
9	2	16	0	0	22,15	19,0

На підставі відповідних розрахунків знайдено значення функцій відгуку та одержано криві регресій. Залежність виходу цільової фракції після фракціонування (V , %) від основних параметрів процесу кристалізації (швидкості охолодження та тривалості кристалізації) описується наступним рівнянням. У кодових змінних воно має вигляд:

$$V = 17,012 - 3,810 \cdot X_1 + 4,908 \cdot X_2 - 2,638 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,716 \cdot (X_1^2 - X_1^{-2}) - 4,737 \cdot (X_2^2 - X_2^{-2}) \quad (16)$$

Значимість коефіцієнтів перевіряли за умови t_{ip} , t_{ijp} , $t_{iip} > t_{табл.}$ ($t_{табл.} = 4,3$, $f = 2$, $Sb_o = 0,299$, $Sb_i = 0,366$, $Sb_{ij} = 0,449$, $Sb_{ii} = 0,635$) у відповідності з розрахованими значеннями критерія Стьюдента:

$t_0 =$	56,868
$t_1 =$	-10,399
$t_2 =$	13,397
$t_{12} =$	-5,878
$t_{11} =$	-4,280
$t_{22} =$	-7,465

При $X_1^{-2} = 0,67$ [15] та після виключення незначимих коефіцієнтів і відповідних факторів або взаємодій факторів крива регресії має наступний вигляд:

$$V = 22,006 - 3,810 \cdot X_1 + 4,908 \cdot X_2 - 2,638 \cdot X_1 \cdot X_2 - 4,737 \cdot X_2^2 \quad (17)$$

Розрахункове значення критерія Фішера $F_{розрах} = 12,73$, табличне значення $F_{табл} = 215,70$ (при рівні значимості 0,05). Оскільки $F_{розрах} < F_{табл.}$, рівняння (17) адекватно описує поверхню відгуку.

Аналіз цієї моделі показує, що основним домінуючим фактором впливу на вихід цільової фракції є тривалість кристалізації жирної коріандрової олії. Разом з тим, помітний вплив справляє також і швидкість охолодження та ефект взаємодії швидкості охолодження і тривалості кристалізації. Квадратична залежність виходу цільової фракції від тривалості кристалізації передбачає наявність екстремальної області значення цієї перемінної, при якій вихід цільової фракції буде оптимальним.

Залежність виходу цільової фракції після процесу фракційної кристалізації від основних параметрів процесу у фізичних перемінних має вигляд:

$$y = -9,694 + 1,470 \cdot x_1 + 3,642 \cdot x_2 - 0,330 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,074 \cdot x_2^2 \quad (18)$$

Іншим важливим показником жирів спеціального призначення, які отримують в результаті процесу фракційної кристалізації є температура плавлення отриманого жиру (Z , °C), яка нормується відповідно до ДСТУ 4335:2004 та визначається за кривою (19). У кодових змінних вона має вигляд:

$$Z = 19,989 + 0,917 \cdot X_1 - 1,467 \cdot X_2 + 0,350 \cdot X_1 \cdot X_2 + 2,774 \cdot (X_1^2 - X_1^{-2}) - 0,697 \cdot (X_2^2 - X_2^{-2}) \quad (19)$$

Значимість коефіцієнтів перевіряли за умови t_{ip} , t_{ijp} , $t_{iip} > t_{табл.}$ ($t_{табл.} = 4,3$, $f = 2$, $Sb_o = 0,067$, $Sb_i = 0,082$, $Sb_{ij} = 0,100$, $Sb_{ii} = 0,141$) у відповідності з розрахованими значеннями критерія Стьюдента:

$t_0 =$	299,833
$t_1 =$	11,227
$t_2 =$	-17,963
$t_{12} =$	3,500
$t_{11} =$	19,617
$t_{22} =$	-4,926

При $X_1^{-2} = 0,67$ та після виключення незначимих коефіцієнтів і відповідних факторів або взаємодій факторів крива регресії має наступний вигляд:

$$Z = 18,597 + 0,917 \cdot X_1 - 1,467 \cdot X_2 + 2,774 \cdot X_1^2 - 0,697 \cdot X_2^2 \quad (20)$$

Розрахункове значення критерія Фішера $F_{розрах} = 63,75$, табличне значення $F_{табл} = 230,20$ (при рівні значимості 0,05). Оскільки $F_{розрах} < F_{табл.}$, рівняння (20) адекватно описує поверхню відгуку.

Як і в попередній залежності величина цього показника визначається тривалістю кристалізації (X_2). Вплив швидкості охолодження на температуру плавлення цільової фракції також достатньо значний. Квадратична залежність температури плавлення фракції від швидкості охолодження олії та тривалості кристалізації передбачає наявність екстремальної області значень цих перемінних, при яких температура плавлення фракції буде оптимальною.

Залежність температури плавлення фракції спеціального жиру, отриманої в результаті процесу фракційної кристалізації, від основних параметрів процесу у фізичних перемінних має вигляд:

$$z = 27,977 - 10,179 \cdot x_1 + 0,169 \cdot x_2 + 2,774 \cdot x_1^2 - 0,011 \cdot x_2^2 \quad (21)$$

Для залежностей (18), (21) знайдено екстремальні значення, які представлено в табл. 3.

Таблиця 3 – Екстремальні значення кривих регресії (18), (21)

Значення функції, %	Швидкість охолодження, °C/год	Тривалість кристалізації, год
Код	x_1	x_2
<i>Вихід цільової фракції</i>		
Найбільше значення $y = 28,70$	1,0	23
Найменше значення $y = 11,74$	2,9	8
<i>Температура плавлення фракції</i>		
Найбільше значення $z = 23,01$	2,9	8
Найменше значення $z = 18,41$	1,0	24

Отже, в ході математичного описання встановлено кількісну залежність (у вигляді регресійної моделі) виходу цільової фракції та її температури плавлення від швидкості охолодження та часу кристалізації, а також розраховано раціональні параметри процесу. Графічні зображення поверхонь відгуку та зон раціональних значень показано на рис. 2 (а, б) і 3 (а, б).

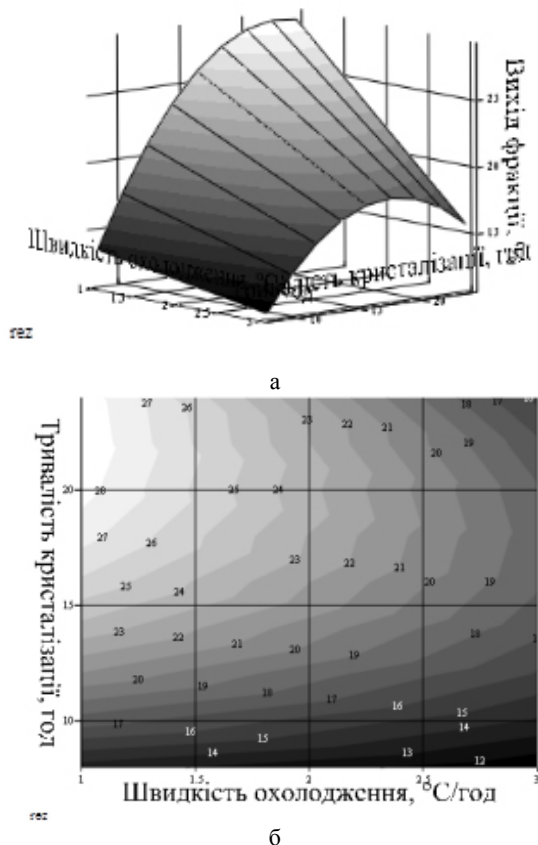


Рис. 2 – Залежність виходу цільової фракції жиру від швидкості охолодження та тривалості кристалізації: а - модель поверхні відгуку; б - зона раціональних значень

Аналізуючи графічні залежності, наведені на рис. 2 і 3, слід зазначити, що в результаті процесу фракційної кристалізації жирної коріандрової олії одержано жир спеціального призначення, а саме – хлібопекарського. Різниця в значенні температур плавлення отриманих фракцій у всіх дослідів є незначною, тому вихід фракції є тим параметром, на який потрібно орієнтуватися під час проведення фракційної кристалізації з метою збільшення економічної ефективності процесу. Визначено, що раціональними умовами фракційної кристалізації є швидкість охолодження 1 °C/год, тривалість кристалізації 23 год, це забезпечує збільшення виходу цільової кристалічної фракції з необхідною температурою плавлення.

В результаті фракційної кристалізації ЖКО можна отримати спеціальний жир, який за органолептичними та фізико-хімічними показниками згідно з ДСТУ 4335:2004 «Жири кондитерські, кулінарні, хлібопекарські та для молочної промисловості. Загальні

технічні умови» відповідає хлібопекарському жиру, що може використовуватися в рецептурах хлібобулочних виробів. Регламентована температура плавлення таких жирів знаходиться в межах 17-27°C, таким чином жири, отримані у всіх дослідів, відповідають цій вимозі.

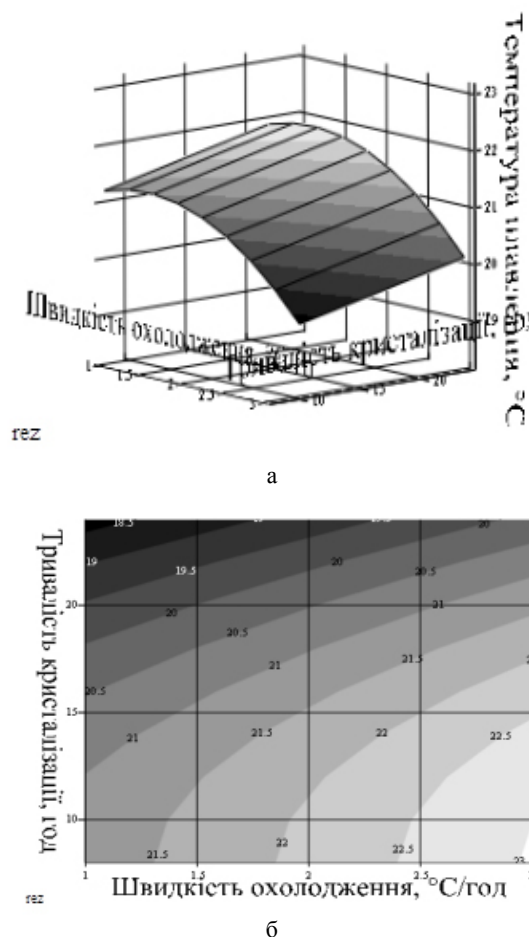


Рис. 3 – Залежність температури плавлення фракції від швидкості охолодження та тривалості кристалізації: а - модель поверхні відгуку; б - зона раціональних значень

Окрім цільової фракції в процесі фракційної кристалізації має місце друга фракція (рідка олійна), яка може бути застосована як олія салатна, як олія для консервної промисловості та мати інші харчові призначення.

Ефективність проведення процесу кристалізації найвірніше було б оцінити якісними показниками цільової кристалічної фракції, яку отримують в результаті процесу фракційної кристалізації. Органолептичні та фізико-хімічні показники отриманої фракції у порівнянні з показниками хлібопекарського жиру згідно з ДСТУ 4335:2004 наведено у табл. 4

Таблиця 4 – Органолептичні та фізико-хімічні показники хлібопекарського жиру та отриманої кристалічної фракції

Назва показника	Хлібопекарський жир згідно з ДСТУ 4335:2004	Цільова кристалічна фракція
Запах і смак	Чистий смак. Запах введеного ароматизатора	Без стороннього запаху, присмаку та гіркоти
Колір	Від світло-жовтого до жовтого	Світло-жовтий
Консистенція за температури 18 °С	Однорідна, рухома (вимірюється за температури 16 °С)	Однорідна
Масова частка жиру, %, не менше ніж	99,70	99,97
Масова частка води та летких речовин, %, не більше ніж	0,30	0,02
Кислотне число, мг КОН/г, не більше ніж	0,80	0,42
Температура плавлення, °С	17,00–27,00	19,70–24,10
Температура застигання, °С	не вище 15,00	14,90
Пероксидне число, ½ О ммоль/кг - під час випуску з підприємства - на прикінці терміну зберігання	5,00 10,00	4,02

Висновки. Таким чином, пошук раціональних умов фракційної кристалізації олії відбувався із розплаву при зазначеній температурі з використанням методу математичного планування експерименту. Використовували ортогональний центральноконфігураційний план другого порядку – ОЦКП з наступною обробкою даних в програмних пакетах MathCad і Microsoft Excel. На підставі відповідних розрахунків знайдено значення функцій відгуку та одержано рівняння регресій, які адекватно описують поверхні відгуку. Раціональні умови фракційної кристалізації, які забезпечують збільшення виходу цільової кристалічної фракції з необхідною температурою плавлення, будуть необхідними для подальшого дослідження закономірностей фракціонування жирної коріандрової олії методом кристалізації із розплаву при використанні допоміжних речовин з метою інтенсифікації процесу.

Список літератури: 1. Garces, R. Current advances in sunflower oil and its applications [Text] / R. Garces, E. Martinez-Force, J. Salas, M. Venegas-Calero // J. Lipid Technology. – 2009. – Vol. 21. – P. 79–82. 2. Осейко, Н. И. Исследование процесса обработки кориандрового жирного масла с целью замены им пищевых масел в промышленных производствах: дис. канд. техн. наук: 175 [Текст] / Н. И. Осейко; Киевский технологический институт пищевой промышленности. – К., 1969. – 185 с. 3. Мазалова, Л. М. Методы модификации специализированных жиров [Текст] / Л. М. Мазалова // Пищевая промышленность. – 2006. – No 9. – С. 66. 4. Moran, D. P. J. Fats in food products [Text] / D. P. J. Moran, K. K. Rajah. – New York: Springer US, 1995. – 415 p. 5. Garti, N. Crystallization processes in fats lipid systems [Text] / N. Garti, K. Sato. – New York: CRC Press, 2001. – 552 p. 6. Суханос, В. В. Фракционная кристаллизация в производстве пищевых модифицированных жиров [Текст] / В. В. Суханос, О. К. Филатов, Ю. А. Тырсин [и др.] // Пищевая промышленность. – 2003. – No 5. – С. 34–37. 7. Wrenn, L. B. Cottonseed oils rise to prominence [Text] / L. B. Wrenn // INFORM: International News on Fats, Oils and Related Materials. – 1998. – Vol. 9. – No. 1. – P. 100–106. 8. Гринберг, Г. Модифицированные жиры [Текст] / Г. Гринберг, Г. Щепанская. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 105 с. 9. Тютюнников, Б. Н. Химия жиров: [учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология жиров»]: [Текст] / [Б. Н. Тютюнников, З. И. Бухштаб, Ф. Ф. Гладкий и др.]. – [3-е изд.]. – М.: Колос. – 1992. – 448 с.: ил. 10. Товажнянский, Л. Л. Процессы и аппараты химической технологии [Текст]: [учебник для студентов высших учебных заведений]. В 2 частях. Часть 2 / [Товажнянский Л. Л., Готлинская А. П., Леценко В. А. и др.]; под ред. Л. Л. Товажнянского. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – 523 с.: ил. 11. Wright, A. J. The effect of minor component milk fat crystallization [Text] / A. J. Wright, A. C. Marangoni // J. Am. Oil Chemists' Soc. – 2000. – Vol. 77. – No. 5. – P. 463–475. 12. Widlak, N. Crystallization and solidification properties of lipids [Text] / N. Widlak, R. W. Hartel, S. Narine. – USA: Am. Oil Chemists' Soc. (AOCS), 2001. – 246 p. 13. Ja-

cobsberg, B. Studies in palm oil crystallisation [Text] / B. Jacobsberg, C. H. Oh // J. Am. Oil Chemists' Soc. – 1976. – Vol. 53. – P. 609–616. 14. О'Брайен, Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение [Текст] / Р. О'Брайен; [пер. с англ. [В. Д. Широкова, Д. А. Бабейкиной, Н. С. Селивановой, Н. В. Маглы]]. – [2-е изд.]. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с. 15. Ахназарова, С. Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Текст] / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с. 16. Бондарь, А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения, примеры и задачи) [Текст] / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха. – Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 184 с. 17. Subbaram M. R., Youngs C. G. Determination of the glyceride structure of fats. glyceride structure of fats with unusual fatty acid compositions [Text] / M. R. Subbaram, C. G. Youngs // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1967. – T. 44. – No. 7. – С. 425–428.

Bibliography (transliterated): 1. Garces, R., Martinez-Force, E., Salas, J., Venegas-Calero, M. (2009). Current advances in sunflower oil and its applications. Journal Lipid Technology, 21, 79–82. 2. Oseyko N. I. (1969) Issledovanie processa obrabotki koriandrovogo жирного масла с целью замены им пищевых масел в промышленных производствах: дис. канд. техн. наук; Kievskiy tehnologicheskij institut pishевой promyshlennosti, 185. 3. Mazalova, L. M. (2006). Metody modyfykatsyy spetsyalyzirovannykh zhyrov. Pyshechevaia promyshlennost, 9, 66. 4. Moran, D. P. J., Rajah, K. K. (1995). Fats in food products. – New York, Springer US, 415. 5. Garti, N., Sato, K. (2001). Crystallization processes in fats lipid systems. – New York, CRC Press, 552. 6. Sukhonos, V. V., Fylatov, O. K., Tyrsyn, Yu. A. (2003). Fraktsionnaya krystallyzatsiya v proizvodstve pishchevykh modyfytsirovannykh zhyrov. Pyshechevaia promyshlennost, 5, 34–37. 7. Wrenn, L. B. (1998). Cottonseed oils rise to prominence. INFORM: International News on Fats, Oils and Related Materials, 9, 1, 100–106. 8. Hrynberh, H., Shchepanskaia, H. (1973). Modyfykovannyye zhyry. – М., Pyshechevaia promyshlennost, 105. 9. Tiutiunnykov, B. N., Bukhshtab, Z. I., Hladkyi, F. F. et al. (1992). Khymiya zhyrov: [uchebnyk dlia studentov vuzov, obuchaiushchysia po spetsyialnosti «Tekhnolohyia zhyrov»]. [3-e yzd.]. Moscow, Kolos, 448. 10. Tovazhnianskiy, L. L., Hotlynskaia, A. P., Leshchenko, V. A. et al. (2005). Protssesy y apparaty khymycheskoi tekhnolohyy: [uchebnyk dlia studentov vysshyykh uchebnykh zavedenyi]. V 2 chastyakh. Chast 2; pod red. L. L. Tovazhnianskogo. Kharkov, NTU «KhPI», 523. 11. Wright, A. J., Marangoni, A. C. (2000). The effect of minor component milk fat crystallization. J. Am. Oil Chemists' Soc., 77, 5, 463–475. 12. Widlak, N., Hartel, R. W., Narine, S. (2001). Crystallization and solidification properties of lipids. – USA, Am. Oil Chemists' Soc., 246. 13. Jacobsberg, B., Oh, C. H. (1976). Studies in palm oil crystallisation. J. Am. Oil Chemists' Soc., 53, 609–616. 14. O'Braien, R. (2007). Zhyry y masla. Proyzvodstvo, sostav y svoystva, prymerenye / R. O'Braien; [per. s angl. [V. D. Shyroкова, D. A. Babeiynoi, N. S. Selyvanovoi, N. V. Mahly]]. [2-e yzd.]. St. Petersburg, Professyia, 752. 15. Akhnazarova, S. L., Kafarov, V. V. (1985). Metody optimyzatsyy eksperymenta v khymycheskoi tekhnolohyy. Moscow, Vysshiaia shkola, 327. 16. Bondar, A. H., Statiukha, H. A. (1976). Planirovaniye eksperymenta v khymycheskoi tekhnolohyy (osnovnye polozeniya, prymery y zadachy). Kiev, Yzdatelskoe obiedyneniye «Vyshcha shkola», 184. 17. Subbaram, M. R., Youngs, C. G. (1967). Determination of the glyceride structure of fats. glyceride structure of fats with unusual fatty acid compositions. Journal of the American Oil Chemists' Society, 44, 7, 425–428.

Надійшла (received) 12.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Калина Вікторія Сергіївна, здобувач, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», здобувач кафедри «технологія жирів та продуктів бродіння»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; e-mail: viktoriya-kalina@mail.ru.

Калина Вікторія Сергеевна – соискатель, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», соискатель кафедры «технология жиров и продуктов брожения»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; e-mail: viktoriya-kalina@mail.ru.

Kalina Viktoriia – postgraduate student, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Department of Technology of fats and fermentation products; 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002; tel.:

Куниця Катерина Вікторівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник кафедри «технологія жирів та продуктів бродіння»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; тел.: (057) 707-64-95; E-mail: ekaterina-kunitsa@mail.ru

Куниця Катерина Викторовна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», научный сотрудник кафедры «технология жиров и продуктов брожения»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: (057) 707-64-95; E-mail: ekaterina-kunitsa@mail.ru

Ekaterina Kunitsa – PhD, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, scientific researcher «Department of Technology of fats and fermentation products»; 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002; tel.: (057) 707-64-95; E-mail: ekaterina-kunitsa@mail.ru

Гладкий Федір Федорович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «технологія жирів та продуктів бродіння»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; тел.: (057) 707-64-95; E-mail: gladky2009@gmail.com

Гладкий Федор Федорович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедры «технология жиров и продуктов брожения»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: (057) 707-64-95; E-mail: gladky2009@gmail.com

Gladkiy Fedor – doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Head of Technology of fats and fermentation products, Department of Technology of fats and fermentation products; 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002; tel.: (057) 707-64-95; E-mail: gladky2009@gmail.com

Луценко Марина Василівна – кандидат технічних наук, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, доцент кафедри «технологія зберігання та переробки сільськогосподарської продукції»; вул. Ворошилова, 25, м. Дніпропетровськ, Україна, 49000; E-mail: mariwka_11@mail.ru

Луценко Марина Васильевна – кандидат технических наук, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, доцент кафедры «технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции»; ул. Ворошилова, 25, м. Днепропетровск, Украина, 49000;

Lytsenko Maryna – PhD, Dnepropetrovsk state agrarian and economic university, Department of Technology of storage and processing of agricultural products; 25 Voroshilova str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49000; tel.: (067) 567-79-19; E-mail: mariwka_11@mail.ru

Литвиненко Олена Анатоліївна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри «технологія жирів та продуктів бродіння»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; тел.: (057) 707-64-95; e-mail: elalitvinenko@yandex.ua

Литвиненко Елена Анатольевна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры «технология жиров и продуктов брожения»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002;

Elena Litvinenko – PhD, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Department of Technology of fats and fermentation products; 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002

УДК 621.3:622:519.24

Б. Б. КОБЫЛЯНСКИЙ, А. Г. МНУХИН**СТРАТЕГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

В статье рассмотрена стратегия обеспечения безопасности угольной промышленности которая базируется исходно на системе представления научной информации для отрасли, включающей в себя учет последствий аварий с оценкой стоимостей человеческих жизней. В рамках проведенных исследований показано, что представление ячейки макросистемы, т.е. непосредственно шахты в виде эргатического объекта, дает возможность оптимизации параметров безопасности угольных шахт с учетом конкретных характеристик применяемого в ней оборудования, причем все упомянутые элементы расчетов или управления должны строиться исключительно на компьютерной основе.

Ключевые слова: макросистема, угольные шахты, эргатический объект, оптимизация, безопасность, эффективность работы, управления угольной шахтой

© Б. Б. Кобылянский, А. Г. Мнухин . 2015

Введение. Известно, что на начальных этапах своего развития, даже самые перспективные отрасли промышленности не оказывают сколь-нибудь серьезного влияния на формирование общества, т.к. первоначально возникающие почти стихийно промышленные объекты и получаемые с их помощью результаты носят в целом скорее случайный, непланный характер. И постепенно вся территория страны, или её значительная часть уже могут рассматриваться то ли, как регион добычи, то ли, как регионы переработки исходного сырья, создания новой техники или технологии, а то и поставки рабочей силы. При развертывании угольной промышленности, но ещё, наверное, больше при закрытии действующих шахт, динамика изменения экологии среды в зависимости от явлений, возникающих при закрытии глубоких, достаточно сильно обводненных угольных шахт, в том числе опасных по газу, вполне может быть определена следующим рядом негативных гидрологических и геомеханических явлений: подтоплением значительных территорий, включающих жилые усадьбы, полевые угодья и ряд других жилищно-бытовых объектов с последующим разрушением зданий, сооружений, коммуникаций по причине капиллярного поднятия воды на поверхность после массового обрушения горных пород. Столь опасное негативное явление может быть в значительной степени парировано путем откачки вод и строительства специальных дренажных систем; загрязнением вод и водозаборов, в том числе и питьевых вод; минерализацией воды в реках, приводящей к увеличению соленасыщения в 2÷4 раза с одновременным загрязнением подземных вод и существующих водозаборов; влиянием химических и коксохимических производств на загрязнение вод, поступающих в шахты и последующее затопление поверхности; уничтожение степных пастбищ и сенокосов с одновременной сильной эрозией почвы и изменением устойчивости фито- и зооценозов.

Цель работы. Попытки оценки безопасных свойств, если не в целом шахты, а хотя бы некоторых её элементов, делались и ранее, в частности применительно к системам подземного электроснабжения [1, 2], методом планирования режима обслуживания горно-шахтного оборудования [3], а также состояния горного массива, т.е. непосредственно окружающей среды [4].

Именно эти работы и послужили основой нового научного направления, которое позволило, в конечном счете, установить численное взаимоотношение между составляющими частями угольной шахты, опасной по газу или пыли, как эргатического объекта типа «человек – машина – среда». Работы эти, как вытекает из анализа прилагаемых копий источников были начаты еще в 90-х годах в МакНИИ.

Первоначально при исследовании сложных систем, в том числе и угольных шахт, безопасную работу в определенном момент отождествляли с надежностью. Однако впоследствии была выявлена неправомерность такого отождествления. Если в теории надежности внимание в основном уделяется технике, что главным объектом безопасности системы, в том числе угольной шахты, является человек.

Методика эксперимента. Такие методы, имеющие многолетнюю апробацию за рубежом, уже много лет используются также и в МакНИИ для решения прикладных задач электротехники, электрогидравлики, теплотехники, социологии, медицины и ряда других отраслей науки с непременным доведением решаемых научных и инженерных задач до практической реализации. Именно отсутствие необходимости детально знать физику рассматриваемого процесса, сделало возможным практическую реализацию этих новых научных направлений с одновременной публикацией нами свыше 70 теоретических и прикладных научных работ [5]. Для практической реализации подобных систем, с одновременным переходом на новую элементную базу, необходим мощный программно-аппаратный комплекс и мобильная исследовательская группа, осуществляющая оперативный сбор необходимой информации по изучаемому региону. Такая задача в целом может быть решена силами лаборатории экологической направленности, усиленной 1-2 программистами-математиками, общим количеством 10 человек, оснащенной транспортом, средствами связи и техникой сбора и первичной обработки исходных данных. В данное научное подразделение целесообразно ввести подгруппу, занимающуюся одновременным прогнозированием социальных и экономических явлений, характеризующих основные отрасли промышленности, с учетом взаимосвязей между ними, и обеспечивающей регулярную выдачу исходных данных для корректного принятия управленческих решений руководством конкретного региона. Для угольной промышленности, особенно на период её реструктуризации могут быть приняты различные факторы [6-8].

Полный срок развертывания всей системы сбора, учета и обработки данных составит 12 месяцев, с выдачей первых результатов уже через 6÷8 месяцев. Анализируя перспективы внедрения в угольной промышленности экологически чистых технологий, нельзя не отметить новое научное и практическое направление – электрогидравлику (электровзрыв), практическая реализация которого позволяет осуществлять эффективную очистку шахтных ствовых труб, безопасное воздействие на угольный пласт [9], а также производить очистку вод различного происхождения, вплоть до питьевой кондиции [10].

Обращая внимание на негативное влияние на окружающую среду процесса угледобычи, нельзя оставить без оценки как бы несколько обособленную экологическую проблему - проблему ликвидации породных отвалов путем полной переработки. Наличие в Донбассе более 1000 породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик, являющихся бросовыми источниками ценного минерального сырья для получения ряда цветных металлов и редкоземельных элементов, обуславливает актуальность их комплексной переработки. В настоящее время имеются реальные предпосылки для решения этой задачи на базе современных технологий. Предлагаемое к реализации направление переработки отвалов угольных шахт предусматривает выпуск ряда материалов и сырья.

Обсуждение результатов. При организации работы подземных предприятий мы упираемся в про-

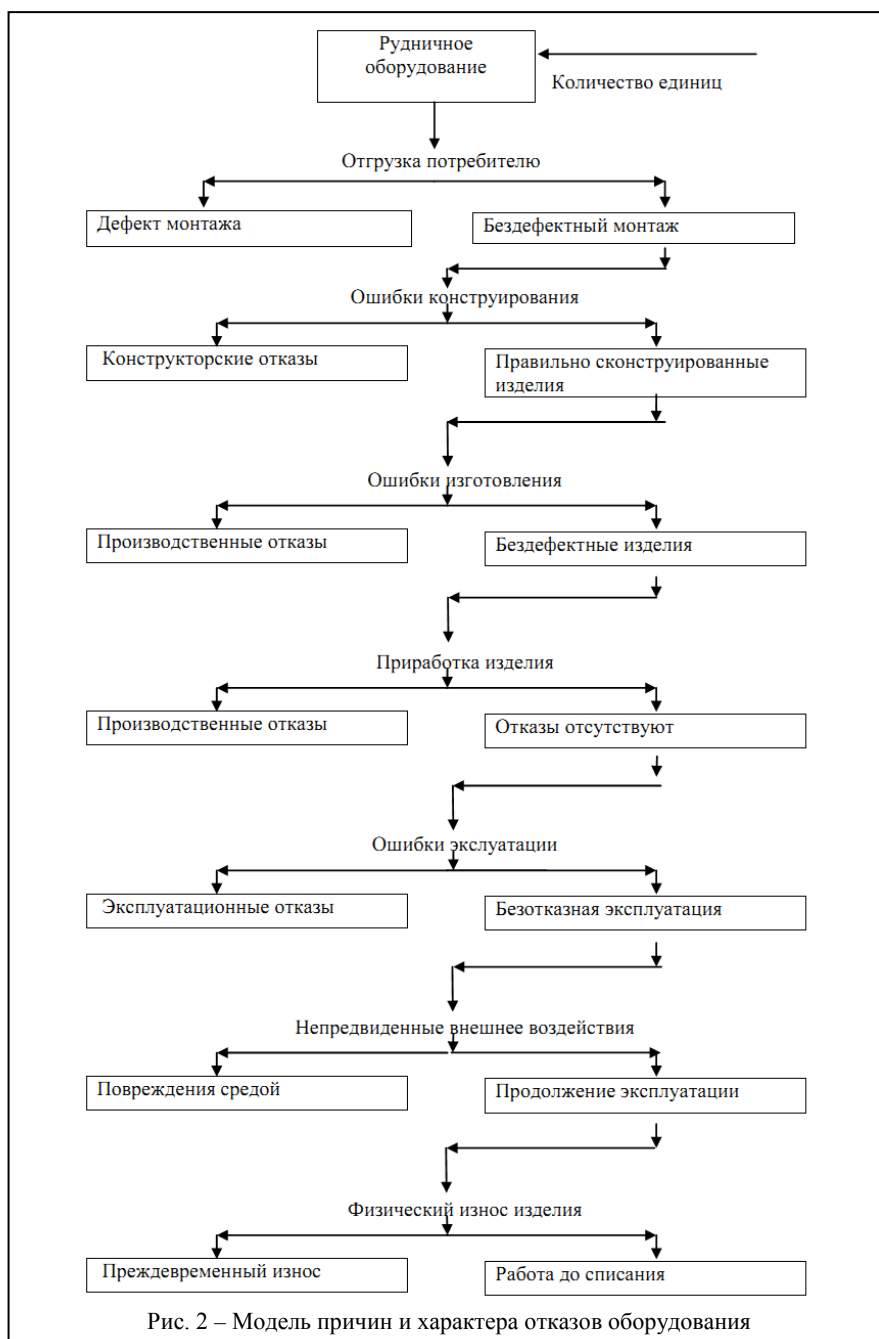
ответствующем нормативном документе для нужд угольной промышленности.

Строя систему оценки техногенного риска на предприятиях повышенной опасности, в частности, на предприятиях угольной промышленности, необходимо для последующей оптимизации параметров угольных шахт с целью обеспечения их безопасной работы при одновременной оценке экономического ущерба, выражающегося как материальными затратами на восстановление оборудования и выработок, так и потерями определяющимися стоимостью непосредственно жизни человека.

В настоящее время существуют различные подходы к оценке стоимости жизни человека в денежном выражении, что обуславливается влиянием следующих факторов: политическая система общества, уровень экономического развития государства, совершенство законодательной системы государства, и, как следствие, социальная защищенность человека, методика оценки, возраст индивидуума, социальное положение, пол, наличие и состав семьи, профессия, условия труда, уровень квалификации, уровень заработной платы, причина и обстоятельство травмы (смерти).

Методы, используемые для определения стоимости жизни, по смысловому подходу можно обобщить по группам. Причем в ряде случаев методы разных групп взаимосвязаны и используются как составные части друг друга.

В настоящее время сформировались такие методы решения этой весьма непростой задачи определения «стоимости человеческой жизни»: метод аналогов на основе уже произведенных компенсационных выплат; страховой метод; биологический метод (по стоимости пересадки человеческих органов); оценивание с позиций теории «человеческого капитала» (потеря выгод семьи, общества из-за смерти кормильца, выбытия трудовых ресурсов); косвенное оценивание с учетом затрат на предотвращение гибели человека (по сравнению с суммой затрат и числом погибших); оценивание по инвестициям, направленным на снижение риска преждевременной смерти отдельного индивидуума; оценивание по готовности физических лиц платить за устранение риска смерти (социологические опросы) и др.



Здесь следует отметить, что подобные методы соответствующих оценок для угольной промышленности, тем более отечественной, были выполнены МакНИИ впервые [5, 12].

Анализируя составные части макросистемы угольной промышленности, мы в конечном счете не можем не коснуться прогностической системы управления шахтой. Современные мировые схмотехнические направления по синтезу АСУТП ориентированы на создание распределенных систем управления технологическими процессами, особенно, расположенными на больших расстояниях друг от друга. Такие системы обеспечивают высокий уровень живучести средств управления технологическими процессами, что обусловлено работоспособностью модуля (подсистемы) за счет соответствующей композиции системы.

Учитывая дислокацию технологических процессов и ГШО шахты на поверхности и под землей на значительных расстояниях друг от друга, а также единство технологии на угледобывающем предприятии, представляется целесообразным сформулировать программу автоматизации отрасли в виде единой модульно-адаптивной прогностической компьютерной системы, которая увязывает все технологические особенности шахты в единую целевую систему, предназначенную для управления угледобычей.

Система управления угольной шахтой должна быть построена по модульному принципу создания локальных автономных подсистем контроля и управления технологическими процессами с возможностью объединения их в единую общешахтную сеть. Подсистемы имеют широкие функциональные возможности по управлению, представляют конструктивное единство с оборудованием, что предполагает более емкий спектр по выполнению функций управления, регулирования, контроля и защиты. Появляется возможность управления процессом через местный, участковый аппарат (например, добыча угля на участке, проходческий забой в целом, в т.ч. и для выбросоопасных условий, управление и контроль водоотливом, вентиляторными установками, процессом добычи метана с шахтного поля, контроль аэрогазовой обстановки в более критических местах и т. д.), который выдает команды управления при возникновении нештатной ситуации, передает результаты прогноза диспетчеру.

Схематические решения, которые будут положены в основу программы должны выполняться на основе электронных промышленных контроллеров, адаптированных к технологической среде шахты, а также с учетом последних достижений компьютерных и информационных технологий и сенсорной техники.

Технологический модуль управления должен обязательно содержать системосоздающий блок адаптации в систему, обеспечивающий обработку, выбор и отображение необходимой для работы системы информации, аудио и видео связь с диспетчерской службой, а также прогноз развития, возникающих в технологическом процессе нарушений за счет высокого уровня диагностирования [13].

Такой принцип построения системы делает ее гибкой, что позволяет формировать систему управления и противаварийной защиты шахты в любом объеме, начиная с небольших локальных объектов и постепенно, наращивая ее до единой общешахтной системы. Это преимущество делает ее доступной для всех шахт с различными финансовыми возможностями, так как отдельные локальные подсистемы имеют

небольшую стоимость и не требуют больших единовременных затрат в десятки миллионов гривен. Целью создания системы является максимальная автоматизация технологических процессов при оптимальном сокращении численности работающих, разработка методологии построения автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления угледобывающим предприятием на основе создания многоуровневой иерархической системы распределенной информационно-вычислительной сети и построения экспертной системы - модульно-адаптивной прогностической системы управления угольной шахтой.

Обобщая изложенное выше, следует отметить, что на современном уровне развития науки и производства, угольную промышленность, как единую макросистему, можно представить следующим образом (рис. 3) [15].

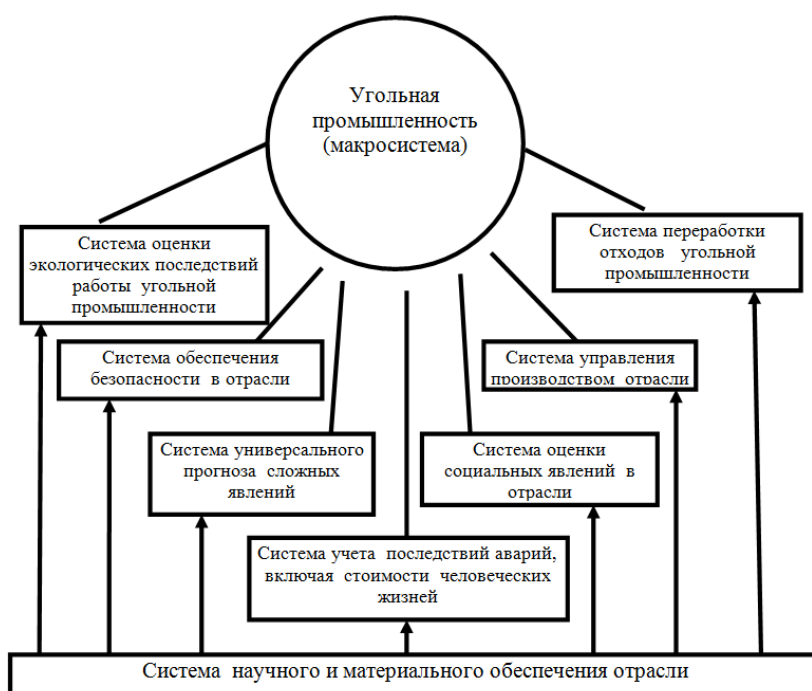


Рис. 3 – Угольная промышленность, как единая макросистема

Достаточно глубоко проработанные нашим институтом указанные выше направления, делают целесообразным перевод отрасли на системную основу, что, несомненно, улучшит в целом эффективность ее работы.

Выводы. Стратегия обеспечения безопасности угольной промышленности базируется исходно на системе представления научной информации для отрасли, включающей в себя учет последствий аварий с оценкой стоимостей человеческих жизней, систему управления производством отрасли, экологические факторы и системы универсального прогноза сложных многофункциональных явлений. Отдельными вопросами упомянутой выше стратегии являются система оценки социальных явлений, а также создание методов переработки отходов угольной промышленности и, в частности, породных отвалов.

В рамках проведенных исследований показано, что представление ячейки макросистемы, т.е. непосредственно шахты в виде эргатического объекта, дает возможность оптимизации параметров безопасности угольных шахт с учетом конкретных характеристик применяемого в ней оборудования, причем все упомянутые элементы расчетов или управления должны строиться исключительно на компьютерной основе.

Список литературы:1. *Mnyukhin, A. G.* Optimization of coal mine parameters to provide safe operation [Text] / *A. G. Mnyukhin, O. M. Bryukhanov* // *Technology at the service of environment.* – Vol. II. – pp. 91–106.2. *Мнухин, А. Г.* Методы оценки безопасности систем электрооборудования шахт как эргатического объекта «человек-машина-среда». Система «человек-машина-среда» в горном деле. Настоящее и будущее: тез докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов угольной промышленности. – М., 1990.3. *Мнухин, А. Г.* Оптимизация обслуживания шахт, исходя из их аварийности [Текст] / *А. Г. Мнухин, А. М. Брюханов, А. Р. Вовченко* // *Научный вестник НГАУ*, 2002. – No1. – С. 83–86.4. *Зорин, А. Н.* Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых [Текст] / *А. Н. Зорин, Ю. М. Халимендик, В. Г. Колесников.* – М.: Недра, 2001. – 412 с.5. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах [Текст]: монография [Брюханов А. М., Бережинский В. И., Бусыгин К. К. и др.]; под общей редакцией А. М. Брюханова. – Донецк: Донбасс, 2004. – Т. 2. – 632 с.6. *Афифи, А.* Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. Пер. с англ [Текст] / *Афифи А., Эйзен.* – М.: Мир, 1982. – 488 с.7. *Мостеллер, Ф.* Анализ данных и регрессия: в 2-х вып. Вып. 1 / Пер. с англ. Ю. Н. Благовещенского; Под ред. Ю. П. Адлера [Текст] / *Ф. Мостеллер, Дж. Тьюки.* – М.: Финансы и статистика, 1982 – 317 с.8. *Джонсон, Н.* Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных [Текст]: пер. с англ. Под ред. Э.К. Лецкого / *Н. Джонсон, Ф. Лион.* – М.: Мир, 1980. – 610 с.9. *Мнухин, А. Г.* Применение электрогидравлического эффекта в горной и других отраслях промышленности. [Текст] / *А. Г. Мнухин* // 7-е заседание Международного бюро по горной теплофизике, Болгария – Бургас, 16-20 сентября, 1996. – С. 231–244.10. Пат. 35664 Украина, МПК ⁶ С 02F 1/48. Устройство для очистки питьевых и сточных вод: *Мнухин А. Г., Мнухин В. А., Купин В. Н., Насонов С. В., Меркелов О. Н., Чередниченко В. В., Емельяненко В. И., Горошко И. П.*; заявитель и патентообладатель *Мнухин А. Г., Мнухин В. А., Купин В. Н., Насонов С. В., Меркелов О. Н., Чередниченко В. В., Емельяненко В. И., Горошко И. П.* – заяв. No 2000095440; опубл. 16.04.01. Бюл. No3.11. *Мнухин, А. Г.* Закономерная аналитическая связь между вероятностью аварий на промышленных объектах и их эргатичностью. [Текст] / *А. Г. Мнухин, А. М. Брюханов, В. В. Радченко, Л. Т. Хохлов* // Диплом No 26-S на открытие. Российская академия естественных наук.12. *Брюханов, А. М.* Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах

[Текст] / *А. М. Брюханов, В. И. Бережинский, К. К. Бусыгин и др.* // монография: под общей редакцией *А. М. Брюханова* – Донецк: Донбасс, 2004. – Т. 1. – 548 с.13. *Мнухин, А. Г.* Модульно-адаптивная прогностическая система управления угольной шахтой [Текст] / *А. Г. Мнухин.* – Донецк, Автоматгормаш, 2006.14. *Мнухин, А. Г.* Оптимизация параметров угольных шахт для обеспечения безопасной работы [Текст] / *А. Г. Мнухин, А. М. Брюханов, В. В. Радченко* // *Уголь Украины.* – 2004. – No5. – С. 31–37.15. *Конкрет, У.* Методы выборочного исследования [Текст] / *У. Конкрет.* – М.: Статистика, 1976. – 440 с.

Bibliography (transliterated):1. *Mnyukhin, A. G., Bryukhanov, O. M.* (2003). Optimization of coal mine parameters to provide safe operation. *Technology at the service of environment*, Vol. II, 91–106.2. *Mnyukhin, A. G.* (1990). Methods for assessing the security of electricity supply systems of mines as the object ergatic "human-machine environment". The system "man-machine-environment" in mining. Present and future: Abstracts. All-Union Scientific and Technical Conference of young scientists and specialists of the coal industry. Moscow.3. *Mnyukhin, A. G., Bogdanov, A. M., Voitenko, A. R.* (2002). Optimization serve mines, based on their accident rate. *Scientific Bulletin of NAU*, No1, 83–86.4. *Zorin A., Khalimendik, Y., Kolesnikov, V.* (2001). Fracture mechanics of the rock mass and its energy use in mining. Moscow: Nedra, 412.5. *Bryukhanov, A., Berezhinsky, V., Bulgakov, K. et al.* (2004). Investigation and prevention of accidents in coal mines. Monograph; edited by *Bryukhanova A.* Donetsk: Donbas, Vol. 2, 632.6. *Afifi, A. Eisen.* (1982). Statistical analysis: The approach of using a computer. Translation. Moscow: Mir, 488.7. *Mosteller, F., Tukey, J.* (1982). Data Analysis and Regression: in 2 vol. Vol. 1 / translation of the Annunciation Yu.; ed. *J. Adler*, Moscow: Finance and Statistics, 317.8. *Johnson, N., Lyon, F.* (1980). Statistics and experimental design in engineering and science: Methods of data processing / translation ed. *Letskiy E.*, Moscow: World, 610.9. *Mnyukhin A.* Application of electrohydraulic effect in the mining and other industries. 7th meeting of the International Bureau for mountain thermophysics, Bulgaria - Burgas, 16-20 September 1996. - P.231-244.10. Pat. 35664 Ukraine, IPC 6 C 02F 1/48. A device for cleaning drinking and waste water: *Mnyukhin A. Mnyukhin V. Kupin V. Nasonov S., Merkelov O., Cherednichenko V., Emelyanenko V., Goroshko I.*; applicant and patentee *Mnyukhin A. Mnyukhin V. Kupin V. Nasonov S., O. Merkelov, V. Cherednichenko, Emelyanenko V. Goroshko I.*, said. Number 2000095440; publ. 04.16.01. Bull. No. 3.11. *Mnyukhin, A. Bryukhanov, A., Radchenko, V., Khokhlov, L.* The regular analytical relationship between the probability of industrial accidents and their organics features. Diploma number 26-S at the opening. Russian Academy of Natural Sciences.12. *Bryukhanov, A., Berezhinsky, V., Bulgakov, K. et al.* (2004). Investigation and prevention of accidents in coal mines. Monograph; edited by *Bryukhanova A.* Donetsk: Donbas, T. 1, 548.13. *Mnyukhin, A.* (2006). Modular adaptive predictive control system of a coal mine. Donetsk, Avtomatgormash.14. *Mnyukhin, A. Bryukhanov, A., Radchenko, V.* (2004). Optimization parameters of coal mines to ensure safe operation. *Coal of Ukraine*, No 5, 31–37.15. *Cochran, W.* (1976). Methods of sampling. Moscow: Statistics, 440.

Поступила (received) 18.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кобылянский Борис Борисович – Кандидат технических наук, Учебно-научный профессионально-педагогический институт Украинской инженерно-педагогической академии, доцент кафедры охраны труда и экологической безопасности; ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003;

Кобиланський Борис Борисович – Кандидат технічних наук, Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії, доцент кафедри охорони праці та екологічної безпеки; вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

Kobilyansky Boris Borisovich – PhD tehnnycheskyh Sciences, Teaching and Research Professional Pedagogical Institute Ukrainian engi-neering and Pedagogical Academy, assistant professor of occupational and environmental safety; st. Universytets'ka, 16, Khar'kov, Ukraine, 61003 ; tel.: 050-025-29-06; e-mail: b.kobiliansky@yandex.ua.

Мнухин Анатолий Григорьевич - доктор технических наук, профессор, Запорожская Государственная Инженерная Академия, заведующий научно-исследовательской лаборатории Запорожской Государственной Инженерной Академии; пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69000;

Мнухін Анатолій Григорійович – доктор технічних наук, професор, Запорізька Державна Інженерна Академія, завідувачий науково-дослідної лабораторії Запорізької Державної Інженерної Академії; пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, Україна, 69000; тел. 050-501-68-27; e-mail: anatoly.mnyukhin@gmail.com

Mnyukhin Anatoly Grigorievich – Dr. Eng., Head of the research laboratory of the Zaporozhye State Engineering Academy; pr. Lenina, 226, Zaporozh'ye, 69000, Ukraine ; tel. 050-501-68-27; e-mail: anatoly.mnyukhin@gmail.com

УДК 629.3

В. П. ВОЛКОВ, С. М. МАСТЕПАН, І. М. ФОМЕНКО, В. Ю. РИЖОВА**ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ**

Розглядається розвиток виробничого потенціалу підприємств автомобільного транспорту (ПАТ) в розрізі виробництва послуги ТО та Р транспортних засобів з конкретним рівнем якості. Для оцінки стану окремих складових ПАТ запропоновано виокремити та класифікувати ознаки виробничих процесів на ПАТ та обрати методи визначення якості окремих складових послуг як з внутрішнього середовища так і з зовнішнього. Результати досліджень можуть бути використані при прийнятті рішень стосовно подальшого розвитку виробничого потенціалу ПАТ.

Ключові слова: виробничий потенціал, якість, розвиток, виробничі процеси, послуга, споживачі, чинники, очікування.

Вступ. Найбільша проблема, в неефективній роботі ПАТ, полягає в невідповідності рівня дійсного виробничого потенціалу до рівня очікування-сприйняття споживачем якості послуги ТО та Р. Звичай потенціал занижений, але бувають і протилежні випадки. В будь-якому разі, щоб не втратити клієнтів або не вкладати зайві ресурси в якість послуги яку вони не зможуть оцінити, треба вміти чітко визначати якість послуги не тільки зсередини але і зовні.

До якості послуги можна висунути дві вимоги:

- відповідність послуги очікуванням споживачів,
- технічна сталість якості послуги.

Технічні аспекти виробництва послуг ТО та Р на ПАТ формують технічну сталість якості. Методи, що керують технічною якістю широко розвинені і застосовуються на підприємствах, тобто вони формують ту якість яку заплановано, а в більшості випадків по факту, яка вона є. Тому що на багатьох підприємствах поняття якість існує в віртуальній площині, всі розуміють її по-різному, а деякі працівники не знайомі з цим терміном. Про системні механізми її вимірювання зовсім не йде мови.

З часом, будь-яке виробництво досягає відносно стійкого показника стабільності результатів. Що безумовно є складовою якості. Методи спрямовані на відповідність якості, тобто відповідність очікувань і отриманої послуги клієнтом досить широко застосовуються на практиці. Там, де вони застосовуються вже на досить високому рівні є і технічна сталість якості послуги і відповідність послуги очікуванням споживачів. Прикладом таких підприємств є авторизовані СТО. Проблема полягає в тому, що вони є вже готовими рішеннями. Тобто типовими проектами. Жорстко регламентовані всі технологічні процеси на підприємстві. І в принципі, на таких підприємствах працюючи над відповідністю технологічних процесів і очікуванням клієнтів йде мова не про розвиток виробництва, а тільки лише про відповідність виробництва вимогам заводу-виробника. Для більшості інших підприємств, що не мають можливості відразу взяти і вкласти в такі вимоги 1 і більше млн. доларів шлях розвитку якості є доволі тернистий.

Керівництво таких підприємств не знає, як найбільш ефективно спрямувати наявні ресурси на розвиток підприємства. Які конкретно аспекти виробництва потрібно розвивати. Воно вкладає ресурси з натхнення, але як правило результати не відповідають очікуванням. І після таких невдалих спроб перестають розвивати якість як саме поняття, а виробництво розвивають навмання. Це не призводить до негативних на-

слідків тільки завдяки практично відсутній конкуренції. Але навіть і при таких умовах існування ПАТ, можливо набагато прискорити розвиток підприємства завдяки механізму контролю якості [1] послуги ТО та Р автомобілів на ПАТ, що підвищить конкурентоздатність підприємства.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Особливості здійснення виробничих процесів у різних галузях без їх систематизації розкриваються у роботах [0-11]. У їхніх працях дані значення понять «технологічний процес» і «виробничий процес», виділені види технологічних процесів тощо, проте більшість із них орієнтована на машинобудівне виробництво і мало пристосовані до підприємств сфери технічного обслуговування і ремонту автомобілів.

Сукупність виробничих процесів, що відбуваються на підприємстві, являє собою сукупний виробничий процес [9-12]. Процес виконання кожного виду робіт із технічного обслуговування й ремонту являє собою приватний виробничий процес. У свою чергу в кожному приватному виробничому процесі можуть бути виділені часткові виробничі процеси – завершені й технологічно відокремлені елементи приватного виробничого процесу, що не є первинними елементами (операціями). Виконання часткових технологічних процесів ґрунтується на понятті "технологічного процесу" – частини виробничого процесу, що вміщує дії зі зміни стану предмета праці. Отже, технологічні процеси є складовими виробничих і мають класифікуватися як такі складові, проте вони мають певну специфіку (рис. 1), яка має бути врахована.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення чинників, показників послуги на ПАТ та методів визначення якості послуг ТО та Р.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідити властивості виробничих процесів ПАТ.
2. Адаптувати існуючі методи контролю якості послуг до умов ПАТ.

Матеріали та методи дослідження розвитку виробничого потенціалу та виробництва послуги ТО та Р на ПАТ. Методичною основою виконання досліджень є: аналіз характеристик виробничого процесу на ПАТ; експертне опитування щодо важливості складових якості послуги ТО та Р на ПАТ.

Об'єктом дослідження є процес виробництва послуг ТО та Р на ПАТ

Предмет дослідження є складові якості виробничого процесу ТО та Р на ПАТ.

Механізм контролю ТО та Р автомобілів на ПАТ повинен складатися з двох синхронізованих частин. Перша вивчає очікування споживачів [13-15], друга складові виробничого потенціалу підприємства. Синхроніза-

ція полягає в використанні загальної системи показників, що установлює зрозумілі зв'язки між очікуваннями споживачів (рис. 2) та потенціалом виробництва [16].



Рис. 1 – Структура виробничих процесів ТО та Р на ПАТ



Рис. 2 – Фактори, що формують очікування споживачів [17]

Провівши експертний аналіз, визначили на думку експертів, найменш впливовий на очікування споживачів фактор на ПАТ, фактор «комфорт». Найкраще значення у фактору «зручність територіального розташування». При цьому, на думку експертів, найвищий пріоритет для споживача має фактор «технічна якість обслуговування». Серед факторів зовнішньої середовища найбільший вплив на очікування споживачів має рівень доходів населення та конкуренція.

Для визначення очікувань споживачів, а також їх задоволеності потрібно використовувати спеціальні моделі опитування споживачів, які мають свою специфіку. Однією з таких моделей є модель Servqual. Використання експертних методів для даних цілей буде не ефективним і не дасть достовірних результатів.

Для даного конкретного автосервісу, виходячи з результатів дослідження, можна стверджувати, що споживачі автосервісу найбільше незадоволені поганим оснащенням автосервісу сучасним обладнанням та інструментом, відсутністю або низькою привабливістю інформаційних та рекламних матеріалів, повільністю обслуговування та слабкою підтримкою робітників з боку керівництва. Визначення цих недоліків у сервісній діяльності дає точний план дій для керівництва підприємства.

Для точного визначення сучасного стану сервісу, місця підприємства на ринку, рівня конкурентоспроможності необхідно визначити скорегований за впливовістю індекс якості обслуговування. Скориговані за впливовістю показники дають більш реальну та об'єктивну інформацію про діяльність автосервісу з підвищення задоволеності споживачів.

Всі фактори, що впливають на процеси ТО та Р можна поділити на дві групи: що впливають на сталість виробничого процесу і на задоволеність споживачів послуги, які в свою чергу теж поділяються на внутрішні (мал. 3) (невизначено залежать від виробництва) та зовнішні (мал. 4) (повністю незалежні від виробництва).

Існуючі методи оцінки якості послуг на основі задоволеності споживача треба адаптувати до специфіки діяльності ПАТ шляхом адаптації опитувань до термінології підприємства. Найбільш прийнятною для ПАТ є поєднання методів «SERVQUAL», «SERVPERF» І «ЗОНИ ТОЛЕРАНТНОСТІ». Сигнальною системою для виявлення проблем на виробництві, доцільно використовувати метод «КРИТИЧНИХ ВИПАДКІВ».



Рис. 3 – Розподіл важливості за факторами внутрішнього середовища

Існуючі методи оцінки якості послуг на основі задоволеності споживача треба адаптувати до специфіки діяльності ПАТ шляхом адаптації опитувань до термінології підприємства. Найбільш прийнятною для ПАТ є поєднання методів «SERVQUAL» [15], «SERVPERF» [18] І «ЗОНИ ТОЛЕРАНТНОСТІ» [15]. Сигнальною системою для виявлення проблем на виробництві, доцільно використовувати метод «КРИТИЧНИХ ВИПАДКІВ».

Для синхронізації результатів опитувань споживачів з показниками виробничої діяльності підприємства системою контролю якості необхідно створювати на основі процесного підходу з використанням показників виробничої діяльності підприємства за напрямками технічного, технологічного, кадрового та нормативного забезпечення.

Зовнішнє середовище

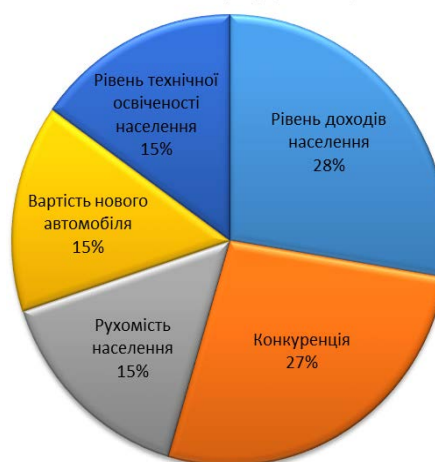


Рис. 4 – Розподіл важливості за факторами зовнішнього середовища

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Найбільшою проблемою протікання виробничого процесу є те, що ПАТ складна ергатична система, де основний виробничий процес постійно змінюється внаслідок постійної зміни задіяних технологічних процесів з особливими ознаками. Це призводить до зменшення сталості якості послуги.

2. Виробничий потенціал ПАТ для свого розвитку потребує метод контролю якості послуги, що враховує як внутрішні чинники та показники виробництва так і зовнішні чинники та показники очікувань споживачів послуг.

Список літератури: 1. ДСТУ ISO 9001-2001. Системи управління якістю. Вимоги [Текст] — К.: Держстандарт України, 2001. 2. Sead Spuzic. Classification of manufacturing processes. Режим доступу: <http://www.slideshare.net/spuzics/classification-of-manufacturing-processes> 3. Sherif, Mostafaa. Lean thinking for a maintenance process [Text] / Sherif Mostafaa, Sang-Heon Lee, Jantane Dumrak, Nicholas Chileshea, Hassan Soltand // Production & Manufacturing Research: An Open Access Journal. –2015. – Vol. 3, Issue 1. – pp. 236–272. 4. Бондаренко, С. Г. Організація технологічних ресурсів [Текст]: навч. посіб. / С. Г. Бондаренко. – Київ : Кондор, 2012. – 243 с. 5. Воскресенский, Б. В. Производственная мощность машиностроительного завода. [Текст] / Б. В. Воскресенский, Р. Г. Малиновский. – М: Машиностроение, 1982. – 344 с. 6. ДСТУ ГОСТ 3.1001:2014 Сдина система технологічної документації. [Текст]: Загальні положення (ГОСТ 3.1001-2011, IDT). 7. Єзунов, Ю. А. Організація виробництва на промисловому підприємстві [Текст] / Ю. А. Єзунов. – Навч. посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 488 с. 8. Жежуха, В. Й. Класифікація технологічних процесів машинобудівних

підприємств як основи установлення рівня їх інноваційності. [Текст] / В. Й. Жежуха // Вісник Львівської політехніки. – 2008. – №635. – С. 163–176. **9.** Збожжана О. М. Основи технології. Підручник. [Текст] – Тернопіль : Карт-бланш, 2006. – 486 с. **10.** Кадиришаев, Т. К. Основы автосервиса. Конспект лекцій [Текст] / Т. К. Кадиришаев, А. А. Алиходжаев. – Ташкент: Изд-во ТАДИ, 2005. – 69 с. **11.** Мороз, В. С. Организация производства и управление предприятием [Текст] / О. Г. Туровец, В. Б. Родионов, М. И. Бухалков: Учебник – 3-е изд. – М.: Инфра-М, 2011. – 506 с. **12.** Туровец, О. Г. Организация производства и управление предприятием [Текст] / О. Г. Туровец, В. Б. Родионов, М. И. Бухалков: Учебник – 3-е изд. – М.: Инфра-М, 2011. – 506 с. **13.** Волгин, В. В. Автосервис. Маркетинг и анализ: Практическое пособие. – 2-е изд., изм. и доп. [Текст] / В. В. Волгин. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2005. – 496 с. **14.** Кухарчик, А. А. Маркетинг: учеб.-метод. пособие для практических занятий [Текст] / А. А. Кухарчик, Е. В. Настяченко // М-во образования Респ. Беларусь. Беларусь. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2010. – 79 с. **15.** Протасова, Л. Г. Управление качеством в сфере услуг: [монография] / Л. Г. Протасова, О. В. Плиска: М-во образования и науки РФ, Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2010. – 176 с. **16.** Мастепан, С. М. Моніторинг якості технічного обслуговування та ремонту дорожньо-транспортних засобів [Текст] / С. М. Мастепан // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць [Текст], №135. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – С. 209–212. **17.** Белобжецкий, В. Н. Теоретические и методологические основы оценки качества сервиса на автомобильном транспорте [Текст]: автореф. дис. канд. эк. наук: 08.00.05 / В. Н. Белобжецкий. – М., 2012. – 17 с. **18.** Алексеев, А. А. Маркетинговые основы товарного позиционирования в инновационном периоде [Текст] / А. А. Алексеев, Г. Л. Багиев. – СПб: СПУЭФ, 1997. – 93 с.

Bibliography (transliterated): **1.** DSTU ISO 9001-2001. (2001). Sistemi upravlinnya yakistyu. Vimogi. Kiev: Derzhstandart Ukraini. **2.** Sead Spuzic. Classification of manufacturing processes. Elektronniy resurs. rezhim dostupu: <http://www.slideshare.net/spuzics/classification-of-manufacturing-processes>. **3.** Sherif, Mostafaa, Sang-Heon, Leeb, Jantanev,

Dumracc, Nicholas, Chileshea, Hassan, Soltand. (2015). Lean thinking for a maintenance process. Production & Manufacturing Research: An Open Access Journal, Volume 3, Issue 1, 236–272. **4.** Bondarenko, S. G. (2012). Organizatsiya tehnologichnih resursiv: navch. posib. Kiyiv : Kondor, 243. **5.** Voskresenskiy, B. V., Malinovskiy, R. G. (1982). Proizvodstvennaya moshnost machinostroitel'nogo zavoda. Moscow: Mashinostroenie, 344. **6.** DSTU GOST 3.1001:2014. (2011). Edina sistema tehnologichnoyi dokumentatsiyi. Zagalni polozhennya (GOST 3.1001- IDT). **7.** Egupov, Yu. A. (2006). Organizatsiya virobntstva na promisl'ovomu pidpriemstvi: Navch. posibnik. Kiev: Tsentr navchalnoyi literatury, 488. **8.** Zhezhuha, V. Y. (2008). Klifikatsiya tehnologichnih protsesiv machinobudivnih pidpriemstv yak osnivi ustanovlennya rivnya yih innovatsiyosti. Visnik Lvivskoyi politehniky, No 635, 163–176. **9.** Zbozhna, O. M. (2006). Osnovi tehnologiyi. Pidruchnik. Ternopil: Kart-blansh, 486. **10.** Kadirshaev, T. K., Alihodzhaev, A. A. (2005). Osnovy avtoservisa. Konspekt lektsiy. Tashkent: Izd-vo TADI, 69. **11.** Moroz, V. S., Telnov, A. S. (2007). Organizatsiya virobntstva: Navch. posibnik. Lviv: Noviy Svit-2000, 256. **12.** Turovets, O. G., Rodionov, V. B., Buhalkov, M. I. (2011). Organizatsiya proizvodstva i upravlenie predpriyatiem: Uchebnik – 3-e izd. Moscow: Infra-M, 506. **13.** Volgin, V. V. (2005). Avtoservis. Marketing i analiz: Prakticheskoe posobie. 2-e izd., izm. i dop. Moscow: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i K°», 496. **14.** Kuharchik, A. A. (2010). Nastachenko Marketing: ucheb.-metod. posobie dlya prakticheskikh zanyatiy: M-vo obrazovaniya Rosp. Belarus. Belarus. gos. un-t transp. Gmel: BelGU, 79. **15.** Protasova, L. G. (2010). Pliska Upravlenie kachestvom v sfere uslug: [monografiya]: M-vo obrazovaniya i nauki RF, Ural. gos. ekon. un-t. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. gos. ekon. un-ta, 176. **16.** Mastepan, S. M. (2012). Monitoring yakosti tehnichnogo obslugovuvannya ta remontu dorozhno-transportnih zasobiv. Visnik SevNTU. Zbimik naukovih prats, No135. Sevastopol: SevNTU, 209–212. **17.** Belobzhet'skiy, V. N. (2012). Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy otsenki kachestva servisa na avtomobilnom transporte: avtoref. dis. kand. ek. nauk: 08.00.05, Moscow, 17. **18.** Alekseev, A. A., Bagiev, G. L. (1997). Marketingovye osnovy tovarnogo pozitsionirovaniya v innovatsionnom periode. Sankt Peterburg: SPUEF, 93.

Надійшла (received) 21.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Волков Володимир Петрович – доктор технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, зав. кафедри "Технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. Говорущенко М. Я."; вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002; тел.: 057-700-38-79; e-mail: keat@khadi.kharkov.ua.

Волков Владимир Петрович – доктор технических наук, Харьковский национальный автомобильно-дорожний университет, зав. кафедры "Техническая эксплуатация и сервис автомобилей им. Говорущенко Н. Я."; ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: 057-700-38-79; e-mail: keat@khadi.kharkov.ua.

Volkov Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, professor, Kharkiv National Automobile and Highway University; 25 Yaroslav Mudry Str., KhNAHU, Kharkiv, Ukraine, 61002;

Мастепан Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри "Технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. Говорущенко М. Я."; вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002; тел.: +38-050-965-20-38; e-mail: mastepansm@gmail.com.

Мастепан Сергей Николаевич – кандидат технических наук, Харьковский национальный автомобильно-дорожний университет, доцент кафедры "Техническая эксплуатация и сервис автомобилей им. Говорущенко Н. Я."; ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, Украина, 61002

Mastepan Serhii – Ph.D., associate professor, Kharkiv National Automobile and Highway University; 25 Yaroslav Mudry Str., KhNAHU, Kharkiv, Ukraine, 61002; тел.: +38-050-965-20-38; e-mail: mastepansm@gmail.com.

Фоменко Ігор Михайлович – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, аспірант кафедри "Технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. Говорущенко М. Я."; вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002; тел.: 057-707-37-68; e-mail: keat@khadi.kharkov.ua.

Фоменко Игорь Михайлович – Харьковский национальный автомобильно-дорожний университет, аспирант кафедры "Техническая эксплуатация и сервис автомобилей им. Говорущенко Н. Я."; ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: 057-707-37-68; e-mail: keat@khadi.kharkov.ua.

Fomenko Igor – postgraduate, Kharkiv National Automobile and Highway University; 25 Yaroslav Mudry Str., KhNAHU, Kharkiv, Ukraine, 61002; тел.: 057-707-37-68; e-mail: keat@khadi.kharkov.ua.

Рижова Вікторія Юрївна – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, аспірантка кафедри "Технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. Говорущенко М. Я."; вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002; тел.: 057-707-37-68; e-mail: keat@khadi.kharkov.ua.

Рижова Виктория Юрьевна – Харьковский национальный автомобильно-дорожний университет, аспирантка кафедры "Техническая эксплуатация и сервис автомобилей им. Говорущенко Н. Я."; ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: 057-707-37-68; e-mail: keat@khadi.kharkov.ua.

Ryzhov Victoria – postgraduate, Kharkiv National Automobile and Highway University; 25 Yaroslav Mudry Str., KhNAHU, Kharkiv, Ukraine, 61002; тел.: 057-707-37-68; e-mail: keat@khadi.kharkov.ua.

УДК 53.082.539

Г. В. ДОРОЖИНСЬКИЙ

ОЦІНКА ВПЛИВУ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ЧУТЛИВІСТЬ ПРИЛАДУ НА ОСНОВІ ЯВИЩА ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

Розглядається залежність чутливості приладу на основі поверхневого плазмонного резонансу від шорсткості поверхні металевому шару його чутливого елемента та довжини хвилі збудження поверхневих плазмонів. Встановлено, що зменшення шорсткості поверхні металевому шару та збільшення довжини хвилі викликає підвищення чутливості при вимірюванні зміни інтенсивності відбитого світла та зменшення чутливості при вимірюванні зсуву мінімуму характеристики відбиття. Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення існуючих та створення нових приладів на основі поверхневого плазмонного резонансу.

Ключові слова: поверхневий плазмонний резонанс, чутливість, шорсткість поверхні, довжина хвилі випромінювання.

Вступ. Одним з перспективних оптичних методів вимірювання для аналізу різноманітних сполук і мікрооб'єктів та процесів на молекулярному рівні є рефрактометричний метод на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР). Вагомими перевагами методу на явищі ППР у порівнянні з традиційними методами вимірювання є можливість вивчення хімічних процесів та молекулярної взаємодії в мікронних шарах у реальному масштабі часу; малий об'єм проби досліджуваної речовини (менше 10 мкл); метод не потребує використання маркерів та флуоресцентних міток для досліджуваної речовини (аналіту) [1].

Провідні тенденції розвитку аналітичних приладів потребують впровадження нових фізичних методів вимірювання, котрі ґрунтуються на останніх досягненнях в області науки та техніки. Основними вимогами до них є підвищення точності і чутливості вимірювання, зменшення часу вимірювання, зменшення об'ємів проб досліджуваних речовин.

Отже, перспективним напрямом вдосконалення аналітичних приладів на основі явища ППР є підвищення їх чутливості шляхом впровадження нових конструкторських рішень та технологічних процесів при їх виготовленні, для чого необхідно провести чисельний аналіз впливу на неї основних конструкторсько-технологічних чинників.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Основне завдання ППР-приладів – визначення мінімальних змін показника заломлення аналіту. Тому для виконання цього завдання необхідно зменшувати межу детектування. Величина межі детектування визначає найменшу зміну ПЗ аналіту при умові, що кутовий зсув мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$ при цьому перевищує рівень власних шумів ППР-приладу. При цьому збільшення чутливості призводить до зменшення межі детектування, що дає корисний ефект, так як робить можливим вимірювати менші концентрації аналіту.

Чутливість ППР-приладів визначається шириною і формою характеристики відбиття $R(\theta)$. Тому напрямом значного підвищення чутливості полягає в застосуванні способів звуження характеристики відбиття, а саме розміщенням в приповерхневій області ЧЕ дифракційних і голографічних структур, застосування біметалічних шарів на поверхні ЧЕ [2, 3]. Звуження резонансного спектру також можливе шляхом збільшення довжини хвилі лазерного випромінювання, котре збуджує поверхневий плазмон, та зменшення шорсткості поверхні металевому шару ЧЕ [4, 5].

Переважна більшість ППР-приладів побудована за геометрією Кречмана [6] (рис. 1, а), яка складається з джерела збудження поверхневих плазмонів 1, призми повного внутрішнього відбиття (ПВВ) 2, чутливого елемента 3 та фотоприймача інтенсивності відбитого від чутливого елемента світла 4. Найбільш поширеним джерелом збудження поверхневих плазмонів є лазери. Принцип роботи ППР-приладів полягає у визначенні зміни показника заломлення (ПЗ) аналіту шляхом вимірювання зсуву мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$. Характеристика відбиття – це залежність коефіцієнту відбиття R (інтенсивності відбитого світла лазера I_B) від кута падіння цього світла θ на поверхню чутливого елемента в діапазоні кутів, більших за кут ПВВ на межі поділу середовищ чутливий елемент - аналіт (рис. 1, б).

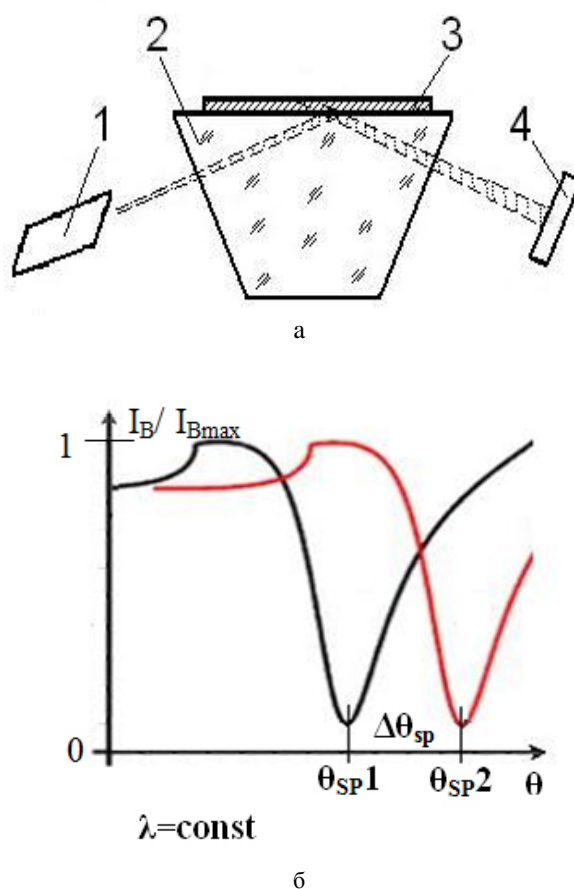


Рис. 1 – Будова ППР-приладу: а – оптична схема з геометрією Кречмана; б – залежність інтенсивності відбитого світла від кута падіння на ЧЕ

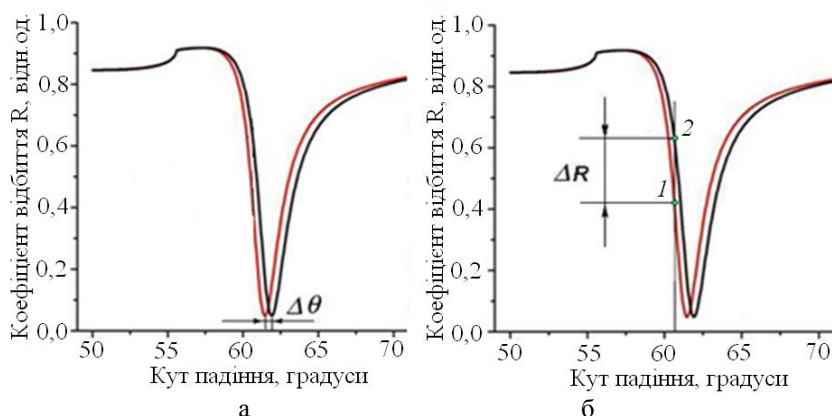


Рис. 2 – Способи вимірювання ППР-приладом: а – зсуву мінімуму $\Delta\theta$ характеристики $R(\theta)$ (режим Multiple), б – зміни інтенсивності ΔR (режим Slope)

Значення ПЗ аналіту пов'язане зі значенням мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$ θ_{sp} через параметри елементів оптичної схеми ППР-приладу, а саме довжина хвилі лазера та показників заломлення чутливого елемента, призми ПВВ та аналіту. Зміна показника заломлення аналіту внаслідок хімічної чи біологічної реакції викликає зсув мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$ $\Delta\theta_{sp}$. В ППР-приладах побудованих на геометрії Кречмана існують два режими вимірювання: Multiple і Slope. В режимі Multiple виконується періодичне вимірювання кутового положення мінімуму характеристика відбиття $R(\theta)$, а в режимі Slope – періодичне вимірювання інтенсивності відбитого світла при постійному куті його падіння (рис. 2). В режимі Slope виражається у вольтах і чутливість, відповідно, у $V/град$.

Зміна показника заломлення аналіту викликає зсув характеристика відбиття $R(\theta)$ з початкового положення (червона крива) у положення кінцеве (чорна крива). В режимі Multiple для визначення цього зсуву виконується періодичне кутове сканування та одночасне вимірювання інтенсивності відбитого від ЧЕ світла та вимірюється величина кутового зсуву $\Delta\theta_{min}$. В режимі Slope спочатку вимірюється вся крива ППР, а потім вимірюється зміна інтенсивності відбитого світла ΔI_B (коефіцієнта відбиття ΔR) при постійному куті падіння θ_s . За величиною зміни $\Delta\theta_{min}$ чи ΔR розраховується зміна показника заломлення аналіту Δn_a .

Аналіз публікацій показав, що основними чинниками, котрі впливають на величину чутливості ППР-приладу, є рельєф поверхні металевому шару ЧЕ та довжина хвилі випромінювання. Поверхнева шорсткість металу суттєво впливає на розповсюдження поверхневих плазмонів та призводить, внаслідок розсіювання енергії, до передчасного загасання плазмонів та зменшення їх фазової швидкості [5]. Зі зростанням шорсткості поверхні металевому шару ЧЕ мінімум характеристики відбиття $R(\theta)$ підвищується і характеристика розширюється, що викликає зменшення крутизни її схилів. Для отримання мінімальної шорсткості (близько 10 нм RMS) рекомендується виконувати відпал металевому шару при температурі $120 \text{ }^\circ\text{C}$ [7]. Авторами не було досліджено залежність чутливості від товщини проміжного шару сформованого шорсткою поверхнею ЧЕ ППР-приладу.

Для ППР-приладів побудованих на геометрії Кречмана чутливість в режимі вимірювання Multiple знаходиться в межах від 66 до 650 град/RIU (RIU – refractive index unit – позасистемна одиниця вимірювання показника заломлення) для довжини хвилі 670 нм і залежить від конструкції ЧЕ [8 – 10]. Такій чутливості відповідає значення межі детектування відповідно від $15 \cdot 10^{-7} \text{ RIU}$ до $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ RIU}$ при рівні шуму у вихідному сигналі ППР-приладу рівному $1 \cdot 10^{-4} \text{ градуса}$. Не досліджено залежність чутливості в діапазоні довжин хвиль, що є необ-

хідним для удосконалення ППР-приладів шляхом оптимізації довжини хвилі з точки зору досягнення максимальної чутливості та мінімального впливу на аналіт.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення впливу шорсткості поверхні чутливого елемента та довжини хвилі збудження поверхневих плазмонів на чутливість ППР-приладу.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Виконати чисельний аналіз впливу шорсткості поверхні ЧЕ на величину чутливості ППР-приладу для режимів роботи Multiple та Slope.

2. Виконати чисельний аналіз впливу довжини хвилі збудження поверхневих плазмонів в металевому шарі ЧЕ на величину чутливості ППР-приладу для режимів роботи Multiple та Slope.

Матеріали та методи дослідження основних конструкторсько-технологічних чинників на чутливість приладу на основі явища поверхневого плазмонного резонансу. Методичною основою виконання комплексних досліджень є: чисельний аналіз залежностей чутливості ППР-приладу серії «Плазмон» в режимі вимірювання Slope від шорсткості поверхні металевому шару чутливого елемента та довжини хвилі збудження поверхневих плазмонів.

Аналіз чутливості виконано для приладу «Плазмон-6» розробленого в Інституті фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України, який було обрано для модернізації [11]. Робочу поверхню ЧЕ приладу формує плівка золота товщиною $48 \dots 52 \text{ нм}$ нанесена на скляну пластинку оптично з'єднану з призмою ПВВ імерсійною рідиною. Джерелом збудження поверхневих плазмонів є р-поляризоване світло від напівпровідникового лазерного діоду з довжиною хвилі випромінювання 650 нм . Необхідні умови для збудження поверхневого плазмону забезпечуються зміною кута падіння на поверхню ЧЕ променя світла від лазера обертанням призми ПВВ.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання показника заломлення аналіту ППР-приладом «Плазмон-6» в режимах Multiple та Slope.

Предметом дослідження є чутливість ППР-приладу «Плазмон-6» в режимах Multiple та Slope при вимірюванні показника заломлення рідких та газоподібних середовищ.

Чутливість ППР-приладів з призмовим збудженням за схемою Кречмана в конфігурації сканування кута з механічною розгорткою (у газподібному і рідкому середовищах) при фіксованій довжині хвилі визначається як відношення між зсувом кута мінімуму кривої ППР (резонансного кута) $\Delta\theta_{\min}$ та зміною ПЗ аналіту ΔN_a , котра викликала цей кутовий зсув [12]. Формула (1) визначає чутливість в режимі вимірювання Multiple. В режимі вимірювання Slope вираз чутливості приймає інший вигляд (2).

$$S_{\theta} = \frac{\Delta\theta_{\min}}{\Delta N_a} \tag{1}$$

$$S_R = \frac{\Delta R}{\Delta N_a} \tag{2}$$

Оцінку впливу основних конструкторсько-технологічних чинників на величину чутливості ППР-приладу було виконано за допомогою чисельного моделювання шляхом побудови теоретичної характеристики відбиття $R(\theta)$ для багатошарової системи “призма (скло) – металева плівка – проміжний шар – зовнішнє середовище (аналіт)” і *p*-поляризованого монохроматичного падаючого випромінювання. Характеристику відбиття $R(\theta)$ розраховували як функцію кута падіння, використовуючи формули Френеля і математичний формалізм матриць розсіювання Джонса на основі методики [13]. У якості моделі розглядалась оптична система з 3 плоскопаралельних шарів з оптичними параметрами $\mathbf{n}, \mathbf{k}, \mathbf{d}$ для довжини хвилі лазера $\lambda = 650 \text{ нм}$ [14-16]. Перший шар моделював призмуПВВ з ПЗ \mathbf{n}_p . Другий шар – металевий шар з параметрами $\mathbf{n}_m, \mathbf{k}_m, \mathbf{d}_m$ у якому збуджуються поверхневі плазмони. Третій шар описує шорсткість поверхні металевого шару ЧЕ і характеризується оптичними параметрами $\mathbf{n}_e, \mathbf{k}_e, \mathbf{d}_e$. Було запропоновано моделювати шорсткість поверхні металевого шару ЧЕ у вигляді 1-D моделі, котра представляє собою вершини конусної форми з висотою \mathbf{h}_k та діаметром \mathbf{d}_k . Для визначення оптичних параметрів проміжного шару $\mathbf{n}_e, \mathbf{k}_e$ була застосована модель ефективного середовища Максвелла-Гарнетта [17], а товщина шару визначалась висотою вершини як $\mathbf{h}_e = \mathbf{h}_k$. На основі чисельного аналізу було визначено його оптичні параметри, а саме: $n_e = 0,15647, k_e = 2,26058$. При чисельному аналізі параметром, котрий змінювався, була товщина шару \mathbf{h}_e , яка варіювалася в діапазоні від 1 до 20 нм з кроком 1 нм.

Результати дослідження основних конструкторсько-технологічних чинників на чутливість приладу на основі явища поверхневого плазмонного резонансу. В результаті проведених досліджень було встановлено, що збільшення шорсткості поверхні ЧЕ веде до розширення характеристики відбиття $R(\theta)$ та до зменшення крутизни нахилу лівого схилу кривої, що зменшує чутливість в режимі Slope (рис. 3,а). Проміжний шар товщиною 20 нм зменшує чутливість майже вдвічі. Натомість в режимі Multiple збільшення проміжного шару підвищує чутливість (рис. 3,б) за рахунок збільшення добутку $\mathbf{n}_e \mathbf{d}_e$, котрий відповідає за величину зсуву мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$.

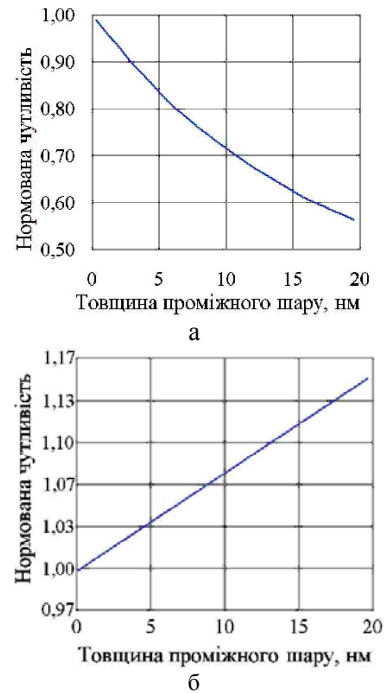


Рис. 3 – Результати чисельного аналізу залежності чутливості ППР-приладу «Плазмон-6» від товщини проміжного шару: а – в режимі Slope, б – в режимі Multiple.

В результаті чисельного розрахунку залежності чутливості від довжини хвилі було встановлено, що збільшення довжини хвилі впливає на чутливість ППР-приладу внаслідок звуження кривої ППР та збільшення крутизни її схилів, що викликає підвищення чутливості S_R в режимі вимірювання Slope (рис. 4, а). В режимі Multiple спостерігається зниження чутливості S_{θ} (рис. 4, б).

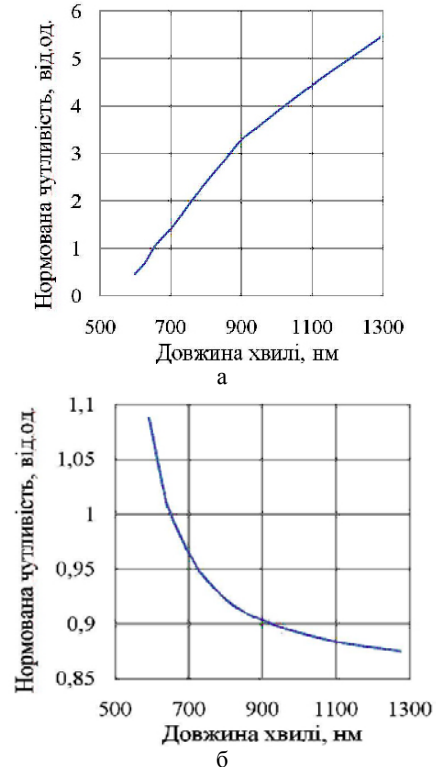


Рис. 4 – Результати чисельного аналізу залежності нормованої чутливості від довжини хвилі збудження: а – в режимі Slope, б – в режимі Multiple

Межі діапазону довжин хвиль були обрані за результатами попередніх розрахунків, котрі визначили, що:

1. При довжинах хвиль, менших за 589 нм, мінімум характеристики відбиття $R(\theta)$ втрачає екстремум, а форма кривої стає суттєво несиметричною;

2. При довжинах хвиль, більших за 1200 нм, зменшується кількість вимірних значень при кутовому скануванні та коефіцієнт відбиття в мінімумі характеристики відбиття $R(\theta)$ стає більшим 0,2, що зменшує динамічний кутовий діапазон вимірювання в режимі Slope.

Обговорення результатів дослідження основних конструкторсько-технологічних чинників на чутливість приладу на основі явища поверхневого плазмонного резонансу. За результатами чисельного моделювання встановлено, що збільшення шорсткості поверхні металевому шару ЧЕ підвищує чутливість ППР-приладу на 16 % в режимі вимірювання Multiple з 65 град/RIU до 75 град/RIU за рахунок збільшення товщини проміжного шару між металевим шаром ЧЕ та аналітом. При цьому чутливість в режимі Slope зменшується з 5,13 В/град до 2,82 В/град при зростанні шорсткості поверхні ЧЕ від 0 до 20 нм, що пояснюється зменшенням крутизни лівого схилу характеристики відбиття $R(\theta)$ внаслідок її розширення. Причому чутливість ППР-приладу спадає на 2,2% на кожний додатковий нанометр висоти мікрошорсткості.

Тому для підвищення чутливості приладу в режимі вимірювання Slope треба зменшувати шорсткість поверхні металевому шару ЧЕ запроваджуючи нові технології нанесення металевого або додаткового поруватого шару ЧЕ на підкладку.

Збільшення довжини хвилі від 650 до 1200 нм підвищує чутливість приладу в 5 разів в режимі Slope: з 5,13 В/град до 26 В/град та зменшує чутливість приладу на 13 % в режимі Multiple: з 65 град/RIU до 56 град/RIU, тому подальшим етапом експериментальних досліджень необхідно оптимізувати довжину хвилі лазерного діода з врахуванням наявних напівпровідникових лазерів, що серійно виробляються.

Висновки. В результаті проведених досліджень та чисельного аналізу встановлено:

1. З 5,13 В/град до 2,82 В/град (в 2 рази) зменшується чутливість ППР-приладу «Плазмон-6» в режимі вимірювання Slope при зростанні шорсткості поверхні ЧЕ від 0 до 20 нм, що пояснюється зменшенням крутизни лівого схилу характеристики відбиття $R(\theta)$ внаслідок її розширення. Причому чутливість ППР-приладу спадає на 2,2 % на кожний додатковий нанометр висоти шорсткості.

2. З 5,13 В/град до 26 В/град (в 5 разів) підвищується чутливість ППР-приладу при збільшенні довжини хвилі випромінювання лазера від 650...1200 нм внаслідок, що пояснюється збільшенням крутизни лівого схилу характеристики відбиття $R(\theta)$. В діапазоні довжин хвиль менших за 589 нм та до 650 нм мінімум характеристики відбиття $R(\theta)$ має слабо виражений екстремум, а форма кривої є суттєво несиметричною і чутливість ППР-приладу менша за 5,13 В/град. При довжинах хвиль понад 1200 нм зменшується кількість вимірних значень при кутовому скануванні приладом «Плазмон-6» та коефіцієнт відбиття в мінімумі

характеристики відбиття $R(\theta)$ зростає до 0,2, що зменшує динамічний кутовий діапазон вимірювання в режимі Slope.

Список літератури: 1. *Войтович, И. Д.* Сенсоры на основе плазмонного резонанса: принципы, технологии, применения [Текст] / И. Д. Войтович, С. Г. Корсунский – К.: Сталь, 2011, – 534 с. 2. *Palagushkin, A. N.* Plasmonic Holographic Nanostructures [Text] / A. N. Palagushkin, S. A. Prokopenko, A. P. Sergeev // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics) – 2009. – Vol. 18, No. 3. – P. 156–163. 3. *Shirshov, Yu. M.* Bimetallic layers increase sensitivity of affinity sensors based on surface plasmon resonance [Text] / Yu. M. Shirshov, A. V. Samoylov, S. A. Zinyo, E. R. Surovceva, V. Mirskiy // Sensors. – 2002. – Vol. 2. – P. 62–70. 4. *Ушенін, Ю. В.* Увеличение чувствительности сенсоров изменения показателя преломления среды на основе поверхностного плазмонного резонанса [Текст] / Ю. В. Ушенін, А. В. Самойлов, П. В. Христосенко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2011. – No1 – С. 12–14. 5. *Braundmeier, A. J.* Effect of surface roughness on surface plasmon resonance adsorption [Text] / A. J. Braundmeier, E. T. Arakawa // Journal Physics Chemistry Solids. – 1974. – 35. – P. 517–520. 6. *Kretschmann, E.* Die bestimmung optischer konstanten von metallen durch anregung von oberflächen plasmaschwingungen // Z. Phys. – 1971. – Vol. 241. – P. 313–324. 7. *Snopok, B. A.* Optical biosensors based on the surface plasmon resonance phenomenon: optimization of the metal layer parameters [Text] / B. A. Snopok, E. V. Kostyukevich, S. I. Lysenko, P. M. Lytvyn, O. S. Lytvyn, [et al.] // Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics. – 2001. – Vol. 4, No 1. – P. 56–69. 8. *Homola, J.* Surface plasmon resonance sensors based on diffraction gratings and prism couplers: sensitivity comparison [Text] / J. Homola, I. Koudela, S. S. Yee // Sensors and Actuators B. – 1999. – Vol. 54. – P. 16–24. 9. *Gupta, G.* Tuning and sensitivity enhancement of surface plasmon resonance sensor [Text] / G. Gupta, J. Kondoh // Sensors and Actuators B. – 2007. – Vol. 122. – P. 381–388. 10. *Shalabney, A.* Electromagnetic field distribution in multilayer thin film structures and the origin of sensitivity enhancement in surface plasmon resonance sensors [Text] / A. Shalabney, I. Abdulhalim // Sensors and Actuators A. – 2010. – Vol. 159. – P. 24–32. 11. *Венгер, С. Ф.* Спектрометр поверхневого плазмонного резонансу Плазмон-6 [Текст] / С. Ф. Венгер, С. А. Зиньо, С. П. Мацас, А. В. Самойлов, Ю. В. Ушенін, та ін. // Тези доповідей науково-практичної конференції СЕНСОР-2007. – (Одеса Україна). – 2007. – С. 111. 12. *Shalabney, A.* Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors [Text] / A. Shalabney, I. Abdulhalim // Laser Photonics Rev. – 2011. – Vol. 5, No.4. – P. 571–606. 13. *Chegel, V. I.* Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As₂S₃ structures using surface plasmon resonance spectroscopy [Text] / V. I. Chegel, Yu. M. Shirshov, S. O. Kostyukevich [et al.] // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. – 2001. – Vol. 4, No.4. – P. 301–306. 14. Официальный сайт ООО «ШОТТ Фармасьютикал Пэкэджинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www\URL: <http://www.schott.com/> 15. *Rakic, A. D.* Optical properties of metallic films for vertical-cavity optoelectronic devices [Text] / A. D. Rakic, A.B. Djuricic, J. M. Elazar, M. L. Majewski // Appl. Opt. – 1998. – Vol. 37. – P. 5271–5283. 16. *Kedenburg, S.* Linear refractive index and absorption measurements of nonlinear liquids in the visible and near-infrared spectral region [Text] / S. Kedenburg, M. Vieweg, T. Gissibl, H. Giessen // Opt. Mat. Express. – 2012. – Vol. 2. – P. 1588–1611. 17. *Azzam, R. M. A.* Ellipsometry and Polarized Light [Text] / R. M. A. Azzam, N. M. Bashara. – Amsterdam: North-Holland, 1987. – 583 p.

Bibliography (transliterated): 1. *Vojtovych, I. D., Korsunskyi, S. G.* (2011). Sensory na osnove plazmonnogo rezonansa: principy, tehnologii, pryimeneniya, Kyiv: Stal, p. 534. 2. *Palagushkin, A. N., Prokopenko, S. A., Sergeev, A. P.* (2009). Plasmonic Holographic Nanostructures. *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*, 18 (3), 156–163. 3. *Shirshov, Yu. M., Samoylov, A. V., Zinyo, S. A., Surovceva, E. R., Mirskiy V.* (2002). Bimetallic layers increase sensitivity of affinity sensors based on surface plasmon resonance. *Sensors*, 2, 62–70. 4. *Ushenin, Yu. V., Samoylov, A. V., Khristosenko, R. V.* (2011). Uvelichenie chuvstvitelnosti sensorov izmeneniya pokazatelya prelomleniya sredy na osnove poverkhnostnogo plazmonnogo rezonansa. *Tehnologia i konstruirovaniye v elektronnoy apparatury*, 1, 12–14. 5. *Braundmeier, A. J., Arakawa, E. T.* (1974). Effect of surface roughness on surface plasmon resonance adsorption. *Journal Physics Chemistry Solids*, 35, 517–520. 6. *Kretschmann, E.* (1971). Die bestimmung optischer konstanten von metallen durch anregung von oberflächen plasma-

schwingungen. *Z. Phys.*, 1 (241), 313–324. 7. Snopok, B. A., Kostyukovich, E. V., Lysenko, S. I., Lytvyn, P. M., Lytvyn, O. S. [et al.] (2001). Optical biosensors based on the surface plasmon resonance phenomenon: optimization of the metal layer parameters. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*, 4 (1), 56–69. 8. Homola, J., Koudela, I., Yee S. S. (1999). Surface plasmon resonance sensors based on diffraction gratings and prism couplers: sensitivity comparison. *Sensors and Actuators B*, 54, 16–24. 9. Gupta, G., Kondoh, J. (2001). Tuning and sensitivity enhancement of surface plasmon resonance sensor. *Sensors and Actuators B*, 122, 381–388. 10. Shalabney, A., Abdulhalim, I. (2010). Electromagnetic field distribution in multi-layer thin film structures and the origin of sensitivity enhancement in surface plasmon resonance sensors. *Sensors and Actuators A*, 159, 24–32. 11. Venger, Ye. F., Zinyo, S. A., Matsas, Ye. P., Samoylov, A. V., Ushenin, Yu. V. *in*. (2007). Spektrometr poverkhnevoogo plazmonnogo rezonansu Plazmon-6. *Tezyu dopovidej naukovo-praktychnoyi konferenciyi SENSOR*, 111. 12. Shalabney, A., Abdulhalim, I. (2011).

Sensitivity-enhancement methods for surface plasmon sensors. *Laser Photonics Rev*, 5 (4), 571–606. 13. Chegel, V. I., M. Shirshov, Yu., Kostyukovich, S. O. [et al.] (2001). Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As₂S₃ structures using surface plasmon resonance spectroscopy. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 4 (4), 301–306. 14. Oficialnyj sajt OOO «ShOTT Farmasyutikal Pekkedzhing» [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: \www/URL: <http://www.schott.com/>. 15. Rakic, A. D., Djuricic, A. B., Elazar, J. M., Majewski, M. L. (1998). Optical properties of metallic films for vertical-cavity optoelectronic devices. *Appl. Opt.*, 37, 5271–5283. 16. Kedenburg, S., Vieweg, M., Gissibl, T., Giessen, H. (2012). Linear refractive index and absorption measurements of nonlinear liquids in the visible and near-infrared spectral region. *Opt. Mat. Express.*, 2, 1588–1611. 17. Azzam, R. M. A., Bashara, N. M. (1987). *Ellipsometry and Polarized Light*, Amsterdam: North-Holland, 583.

Надійшла (received) 04.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дорожинський Гліб Вячеславович – молодший науковий співробітник відділу фізико-технологічних основ сенсорного матеріалознавства, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарєва НАН України; пр. Науки, 41, м. Київ, Україна, 03028; тел.: 098-281-90-10; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Дорожинский Глеб Вячеславович – младший научный сотрудник отдела физико-технологических основ сенсорного материаловедения, Институт физики полупроводников имени В. Е. Лашкарёва НАН; пр. Науки, 41, г. Киев, Украина, 03028; тел.: 098-281-90-10; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Dorozinsky Glib – junior researcher of department of physical and technological bases of sensory materials, V. Ye. Lashkaryov Institute of semiconductor physics NAS of Ukraine; 41 pr. Nauky, Kyiv, Ukraine, 03028;

УДК 577.15:644.5.096.4:543.42

Н. А. ДЗЮБА, О. В. ЗЕМЛЯКОВА

ОСОБЛИВОСТІ ІММОБІЛІЗАЦІЇ α -АМІЛАЗИ НА БІЛКОВИХ ТА ПОЛІСАХАРИДНИХ МАТРИЦЯХ

В статті розглядається отримання біологічно активних добавок шляхом іммобілізації α -амілази на білкових та полісахаридних матрицях. В результаті іммобілізації α -амілази на матрицях утворюються зв'язки, які можна визначити за допомогою ІЧ-спектроскопії. Розглянуто можливість використання ІЧ-спектроскопії для аналізу зв'язків при іммобілізації α -амілази на білковій та полісахаридній матрицях. Проведено глибокий аналіз зв'язків в молекулах матриць та іммобілізованого ферменту на матрицях різної природи. Визначено функціональні зв'язки за допомогою яких відбувається іммобілізація α -амілази на глютині та агарі.

Ключові слова: біологічно активні добавки, іммобілізація α -амілази, глютин, агар, ІЧ-спектроскопія, функціональні продукти.

Вступ. Для профілактики прогресування захворювань, які пов'язані з порушенням ферментативної активності, разом з медикаментозною терапією, населенню необхідно вживати функціональні продукти харчування та біологічно активні добавки (БАД), які здатні регулювати рівень глюкози в крові людини. Асортимент функціональних продуктів в значній мірі визначається набором функціональних інгредієнтів або біологічно активних речовин (БАР), для більшості з яких ідентифікована їх основна потенційна користь для здоров'я.

Зважаючи на те, що ферменти мають білкову природу і досить не стабільні при температурі та концентрації іонів водню в середовищі постає актуальне питання стабілізації біокоректорів з метою подальшого їх використання в раціонах харчування та у складі харчових систем. Це обумовлює перспективність подальшого вивчення функціональних властивостей іммобілізованих ферментів та вивчення зв'язків, за рахунок яких проходить зв'язування ферменту з матрицею.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. В останні роки в Україні розробляється і

впроваджується значна кількість спеціальних харчових продуктів, БАД і продуктів лікувально-профілактичного призначення, які є джерелами цінних харчових речовин, що характеризуються здатністю до зв'язування і виведення радіонуклідів, токсинів, солей важких металів з організму [1].

Суттєві недоліки прямого введення БАР в організм людини обмежують їх використання: алергічні реакції, неспецифічна токсичність і пірогенність, чутливість до температури, рН та іонної сили, інактивація під дією ендогенних ферментів та інгібіторів [2]. Успіхи використання іммобілізованих препаратів в народному господарстві та медицині значною мірою визначаються вірністю вибору методу іммобілізації та природи носія, який використовується.

Носії, які використовуються для отримання іммобілізованих препаратів, повинні мати високу гідрофільність, стійкість до хімічних та мікробних уражень, легко активуватися (хімічним або фізичним методом), не впливати на активність БАР та володіти мінімальною неспецифічною адсорбцією. Наявність на носіїв і БАР зарядів з різними знаками значно

© Н. А. Дзюба, О. В. Землякова. 2015

сприяє іммобілізації. В якості матриць використовують: волокна на основі целюлози та декстрини [3], альгінова кислота і її солі, альгінатне волокно [4], колаген та продукти його гідролізу [5-7] та інші.

З природних полімерних носіїв для іммобілізації часто використовують агар – полісахарид, що складається з агарози та агаропектину [8]. Іммобілізацію ферментів на білкових носіях можна проводити як у відсутності, так і в присутності зшиваючих агентів. До недоліків білків, які можуть бути носіями, відносять їх високу імуногенність (за винятком колагену, глютину і фібрину).

Іммобілізація на носіях із зарядженими групами або буферними властивостями, що забезпечують оптимальне локальне рН в мікрооточенні БАД, перешкоджає розгортанню глобули білка, яке обумовлено зміною її іонізаційного стану. Механізм стабілізації БАД поліелектролітами та білками може пояснюватись декількома причинами. Утворення комплексу фермент-поліелектроліт змінює мікро-рН поблизу БАД, стабілізує структуру БАД за рахунок утворення нековалентних (водневих, донорно-акцепторних, електростатичних, гідрофобних) зв'язків між БАД та носієм, знижує локальну концентрацію агентів, що можуть призвести до денатурації [9].

Розробка ефективних матриць для іммобілізації α -амілази та їх використання в харчовій промисловості є актуальною задачею, яка дозволить розширити асортимент БАД, страв і кулінарних виробів у закладах ресторанного господарства, підвищити їх функціональну цінність та більш раціонально використовувати натуральні компоненти сировини.

Відомо, що синтетичні і природні поліелектроліти здатні виділяти (концентрувати) білки з розбавлених водних систем у вигляді нерозчинних білок-поліелектролітних комплексів різної природи [10]. Процеси концентрації білка за допомогою полісахаридів не викликають денатурацію білка і втрату його розчинності, що дозволяє розглядати перспективи їх використання з метою отримання БАД, що містять біологічно активні речовини білкової природи – гідролази і їх інгібітори.

Процес комплексоутворення ферменту з аніонним полісахаридом агаром в кислій області рН відбувається, в основному, за рахунок електростатичної взаємодії між зарядженими групами агару і ферменту (амілази) і водневими зв'язками, вище ізоелектричної точки (ІЕТ) комплексоутворення – за рахунок водневих зв'язків і слабких гідрофобних взаємодій. Фермент та глютин є речовинами білкової природи, тому в результаті іммобілізації вони утворюють міцні електростатичні зв'язки та зв'язки, які можна визначити за допомогою ІЧ-спектроскопії.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є аналіз та порівняння зв'язків між α -амілазою та матрицями полісахаридної та білкової природи.

Задачею дослідження є визначення зв'язків між нативною α -амілазою та матрицями різної природи з метою визначення раціональної технології отримання функціональної БАД.

Для досягнення поставленої мети було визначено основні задачі дослідження:

- розробити спосіб стабілізації інгібітору (шляхом його іммобілізації на полісахаридній та білковій матрицях);

- визначити зв'язки, завдяки яким проходить іммобілізація за допомогою ІЧ-спектроскопії.

Матеріали та методи дослідження особливостей іммобілізації α -амілази на білкових та полісахаридних матрицях. Реєстрацію ІЧ-спектрів поглинання проводили на інфрачервоному спектрофотометрі FTIR-8400S фірми Shimadzu в діапазоні $4000 \dots 400 \text{ см}^{-1}$.

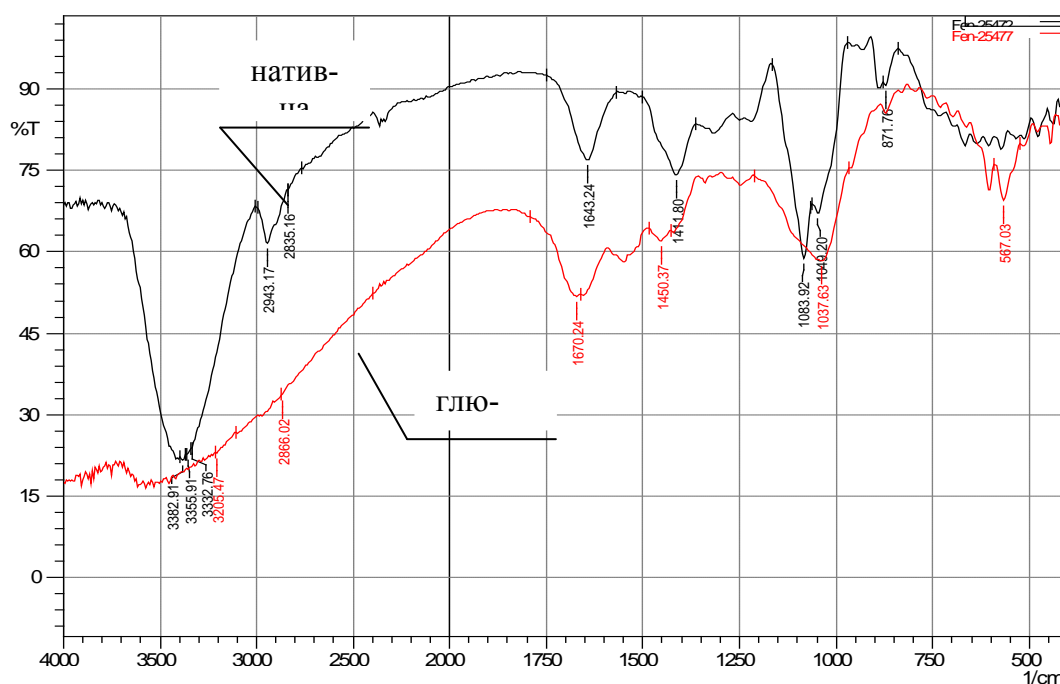
Для аналізу використовували 4 зразки попередньо висушені при $50 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 24 годин: перший зразок – 1 г амілази, другий зразок – 1 г глютину, третій зразок – 1 г агару, четвертий та п'ятий зразки – до 10 мл 0,1% розчину амілази вводили 10 г глютину (агару), іммобілізація проходила 20 хвилин після чого висушували.

Для аналізу використовували пігулки, приготовані методом пресування з надлишком КВг. Маса наповнювача становила 150 мг, досліджуваного зразка – 1,5 мг. Отриману суміш піддавали подрібненню на вібраторі Фон Ардена впродовж 4 хв. Отриману порошокподібну масу (100 мг) використовували для приготування пігулки. Далі здійснювали вакуумування препарату в прес-формі під тиском 150 кг/см^2 .

Результати дослідження особливостей іммобілізації α -амілази на білкових та полісахаридних матрицях. В даному дослідженні в якості метода іммобілізації ферменту використовували метод комплексоутворення за рахунок електростатичної взаємодії (проста коацервація) та включення в гель.

В ІЧ-спектроскопії використовують середню частину ІЧ-області, а саме, $4000\text{-}200 \text{ см}^{-1}$. При розшифровці ІЧ-спектрів використовували довідкові матеріали [11] та мали на увазі, що в ІЧ-спектрах поліпептидів та білків виявляється декілька відносно сильних полос поглинання, які, як правило, відносяться до коливань пептидної групи $-\text{CO-NH}-$, як загальному структурному компоненту білкових молекул.

В результаті досліджень отримали ряд ІЧ-спектрів, деякі з них наведено нижче: нативна α -амілаза, глютин (рис. 1), іммобілізована α -амілаза на глютині (рис. 2).

Рис. 1 – ІЧ-спектри нативної α -амілази та глютину

Обговорення результатів особливостей іммобілізації α -амілази на білкових та полісахаридних матрицях. В спектрі α -амілази (рис. 1) спостерігається широка смуга з піком поглинання при $3382,91\text{ см}^{-1}$, що свідчить про наявність вільних аміногруп. Симетричні коливання метильних груп характеризує пік 2350 см^{-1} , також спостерігаються коливання в діапазоні $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$, що є характерним для валентних коливань C-H груп. Наявність піку при $1643,24\text{ см}^{-1}$ характеризує амід I, що дає змогу говорити про валентні коливання зв'язку -C=O .

В спектрі агару в області $700\text{--}900\text{ см}^{-1}$ спостерігаються смуги поглинання, характерні для спектрів цукрів, в складі яких містяться ланки галактози, а також присутні смуги поглинання груп $\text{-SO}_2\text{-O-}$ (сильна смуга поглинання з двома максимумами 1260 см^{-1} і 1230 см^{-1}), обумовлена валентними асиметричними коливаннями груп O=S=O . Значне поглинання в області $1230\text{--}1260\text{ см}^{-1}$ для агару свідчить про наявність сульфо- групи в ньому.

Аналіз ІЧ-спектрів глютину (рис. 1) показав наявність піку при 3500 см^{-1} , що свідчить про те що глютин є продуктом гідролізу колагену (амід А), піки $1670,24\text{ см}^{-1}$, 1550 см^{-1} характеризують наявність амиду I та амиду II. Наявність валентних коливань -C=I груп неіонізованих та іонізованих кислот характеризує смуга поглинання при 1620 см^{-1} .

При аналізі ІЧ-спектрів іммобілізованої амілази (рис. 2) шляхом включення в гель глютину видно, що практично всі -OH групи включені в водневий зв'язок, про що свідчить відсутність смуги поглинання при 3650 см^{-1} . Широка полоса з піком при $3332,76\text{ см}^{-1}$

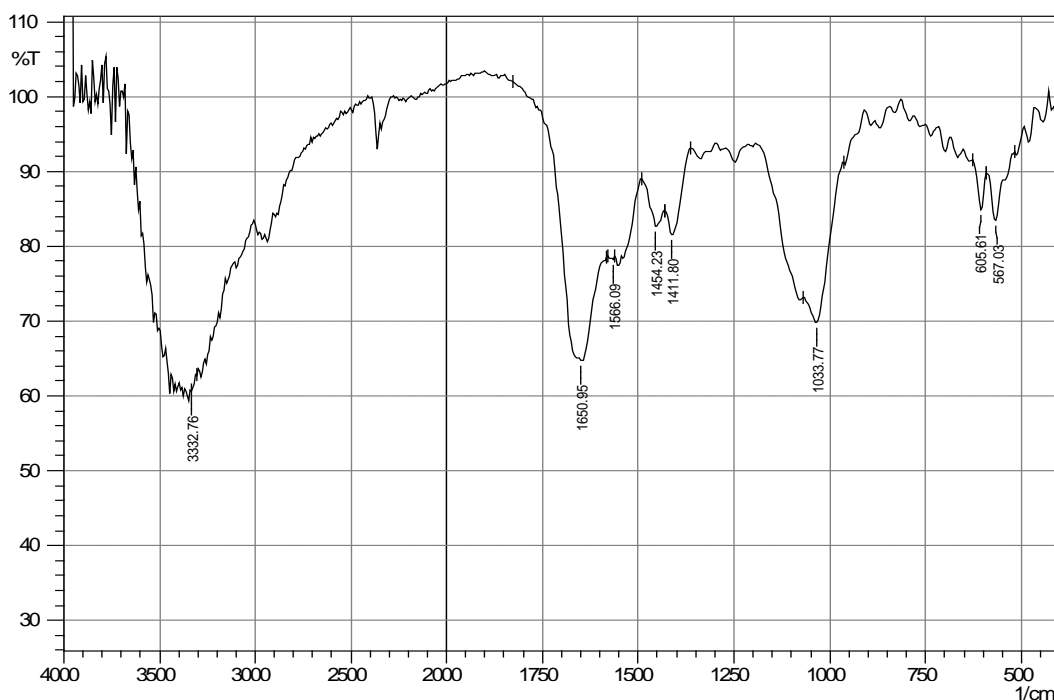
свідчить про те, що в іммобілізації взяли участь аміногрупи глютину, така широка полоса з'являється внаслідок коливань аміногруп, асоційованих водневими зв'язками (-CO-NH-).

В спектрі іммобілізованої амілази на агарі спостерігається інтенсивна широка смуга з максимумом поглинання при 3400 см^{-1} , яка зміщена в низькочастотну область в порівнянні з частотою вільних груп OH- , що свідчить про участь гідроксилів в системі водневих зв'язків. Відсутність смуги поглинання при 3650 см^{-1} вказує, що практично всі гідроксильні групи включені в водневий зв'язок.

Групи $\text{CH}_2\text{-}$ α -амілази зовсім не брали участь в іммобілізації як на полісахаридній так і на білковій матрицях, про що свідчить наявність полоси поглинання $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$. Метильні групи амілази не взяли участь в утворенні комплексу про що свідчить наявність піку при 2350 см^{-1} .

Щільність і міцність сітки водневих зв'язків досліджували за допомогою характерної смуги поглинання 3400 см^{-1} , яка відповідає валентним коливанням гідроксильних груп. Для цього визначали напівширину смуги за хвиловими числами досліджуваної ділянки спектру.

Дані отримані за допомогою ІЧ-спектроскопії при порівнянні зразків ферменту та його іммобілізованої форми на матрицях полісахаридної та білкової природи показали зменшення напівширини смуги поглинання, яка відповідає валентним коливанням OH- груп, що вказує на збільшення кількості OH- груп, які беруть участь в міцних водневих зв'язках при іммобілізації.

Рис. 2 – ІЧ-спектр іммобілізованої α -амілази на глютині

Отримані ІЧ-спектри показали, що амілаза іммобілізована методом механічного включення має незначні відхилення хвиль від ферменту в чистому вигляді, з чого можна зробити висновок, що міцні зв'язки не утворились, але процес іммобілізації відбувся. Амілаза іммобілізована на глютині методом включення в гель утворила стійкий комплекс, оскільки відхилення хвиль ІЧ-спектри є значними. Наявність амідів I та амідів II в амілазі включеної в гель глютину дає змогу стверджувати, що в якості зв'язуючого компоненту могли виступити функціональні групи глютину.

Висновки. Таким чином данні аналізу отриманих ІЧ-спектрів свідчать про складну будову молекули ферменту при включенні в гель полісахаридної або білкової природи та служить підтвердженням гіпотези про те, що функціональні групи в складі глютину та агару здатні до утворення зв'язків з ферментами. Це дає можливість рекомендувати глютин та агар в якості ефективних матриць для іммобілізації ферментів з метою створення БАД направленої дії.

Список літератури: 1. Дерев'яно, Л. П. Роль біологічески активних добавок к пище для профилактики заболеваний населения на пороге нового тысячелетия [Текст] / Л. П. Дерев'яно // Сборник материалов международной научно-практической конференции "Пути сохранения здоровья населения Украины на границе тысячелетий" 30.05.-02.06.2000 г. Ялта – Киев: Общество "Знание" Украины. – 2000. – С. 18–21. 2. Чепчерук, Г. С. Иммуобилизованные ферменты в клинической хирургии [Текст] / Г. С. Чепчерук, В. В. Лищенко // Вест. Хирургии, 1985. – No 3, Т. 134. – С. 126–130. 3. А. С. 730694 (СССР). Модифицированный террилитинном декстран, обладающий фибринолитической способностью [Текст] / А. Г. Алексеева, Г. Е. Гринберг, Г. М. Линбергаум и др. – Б/о No 16.–1980.– С. 86. 4. Корниш-Боуден, Э. Основы ферментативной кинетики [Текст] / Э. Корниш-Боуден. – М.: Мир.– 1979.– 280 с. 5. Земцова, Л. В. Иммуобилизация протосубтилина на полимерных носителях и исследование свойств иммуобилизованного фермента. В кн.: Иммуобилизованные протеолитические ферменты в лечении гнойно-некротических процессов [Текст] / Л. В. Земцова, В. К. Старостина, Д. П. Булдаева. –

Новосибирск, 1981.– С. 9–23. 6. Иванова, Л. А. Коллаген в технологических лекарственных формах: монография [Текст] / И. А. Сычеников, Т. С. Кондратьева. – М.: Медицина, 1984. – С. 112. 7. Yu, P. Optimization of conditions for enzymatic production collagen hydrolysates from a long-value acaudinamolpadioides and their activities [Text] / Yu P., Chen H. // J. Food Biochem. – 2013. – Vol. 38. – P. 227–235. 8. Крусір, Г. В. Основы комплексообразования ингибитор панкреатической амилазы-полисахарид [Текст] / Крусір Г. В., Севастьянова О. В., Кушнір Н. А. // Зернові продукти і комбікорми.– 2009, – No 1. – С. 16–19. 9. Крусір, Г. В. Порівняльна характеристика фізико-хімічних властивостей рослинного інгібітору α -амілази та БАД на його основі [Текст] / Г. В. Крусір, Н. А. Кушнір // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць / Редкол.: О. І. Черевко (відпов. ред.) та ін.; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі.– Харків, 2008. – Вип. 2 (8). – С. 521–527. 10. Кикнадзе, Э. В. Применение полиэлектролитов для выделения ингибитора трипсина из технологических отходов фракционирования белков листьев люцерны [Текст] / Э. В. Кикнадзе, Ю. А. Антонов // Прикладная биохимия и микробиология Т. 34. – 1998, No 5. – С. 508–512. 11. Тарасевич, Б. Н. Справочные материалы. ИК спектры основных классов органических соединений [Текст] / Б. Н. Тарасевич // МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра органической химии // Москва, 2012. – С. 55.

Bibliography (transliterated): 1. Derevianko, L. P. (2000). Rol byolohychesky aktivnykh dobavok k pyshche dlia profylaktyky zabolevaniy naseleniya na porohe novoho tysiacheletyia. Sbornyk materiyalov mezhdunarodnoi nauchno-praktycheskoi konferentsyy "Puty sokhraneniya zdorovia naseleniya Ukrainy na hranytse tysiacheletyi" 30.05.-02.06.2000 h. Yalta, Kyev: Obshchestvo "Znanye" Ukrainy, 18-21. 2. Chepcheruk, H. S., Lyshenko, V. V. (1985). Ymmobylyzovannye fermenty v klynnycheskoi khyrurhyy. Vest. Xyrurhyy, T. 134, No 3, 126–130. 3. Alekseeva, A. H., Hrynberh, H. E., Lynberhaum, H. M. (1980). A. S. 730694 (SSSR). Modyfytsyrovannii terrylytynom dekstran, obladyaiushchy fybrynolytycheskoy sposobnostiu, No 16, 86. 4. Kornysh-Bouden, E. (1979). Osnovy fermentatyvnoi kynetyky, Moskva: Myr, 280. 5. Zemsova, L. V., Starostyna, V. K., Buldaeva, D. P. (1981). Ymmobylyzatsiya protosubtylyna na polymernykh nosyeliakh y yssledovanye svoystv ymmobylyzovannoho fermenta. V kn.: Ymmobylyzovannye proteolytycheskye fermenty v lecheny hnooinokrotchycheskykh protsessov. Novosybyrsk, 9–23. 6. Ivanova, L. A., Sichenykov, Y. A., Kondrateva, T. S. (1984). Kollahen v tekhnolohyy lekarstvennykh form: monohrafyia. Moskva: Medytyna, 112. 7. Yu, P., Chen, H. (2013). Optimization of conditions for enzymatic production collagen hydrolysates from a long-value acaudinamolpadioides and their activities. J. Food Biochem., Vol. 38, 227–235. 8. Krusir, H. V., Sevast-

tionova, O. V., Kushnir, N. A. (2009). Osnovy kompleksoutvorennia inhibitor pankreatychnoi amilazy-polisakharyd. Zernovi produkty i kombikormy, No 1, 16–19. **9.** Krusir, H. V., Kushnir, N. A. (2008). Porivnialna kharakterystyka fizyko-khimichnykh vlastyvoitei roslynnoho inhibitoru α -amilazy ta BAD na yoho osnovi. Prohresyvni tekhnika ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli: Zb. nauk. Prats. Redkol.: O. I. Cherevko (vidpov. red.) ta in.; Khark. derzh. un-t kharchuvannia ta torhivli. Kharkiv, Vol. 2 (8), 521–527. **10.**

Kyknadze, E. V., Antonov, Yu. A. (1998). Prymenenye polyelektrolytov dlia videleniya ynhybytora trypsyna yz tekhnolohycheskykh otkhodov fraktsyonyrovaniya belkov lystev liutserni. Prykladnaia byokhymia y mykrobiolohiya, T. 34, No 5, 508–512. **11.** Tarasevych, B. N. (2012). Spravochnie materyali. YK spektri osnovnykh klassov orhanycheskykh soedyneni. MHU ymeny M. V. Lomonosova, khymycheskyi fakulitet, kafedra orhanycheskoi khymyy. Moskva, 55.

Надійшла (received) 07.06.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дзюба Надія Анатоліївн – кандидат технічних наук, доцент, Одеська національна академія харчових технологій; Кафедра Технології ресторанного і оздоровчого харчування; вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039; тел.: 096-68-67-740; e-mail: adya282@rambler.ru.

Дзюба Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, доцент; Одесская национальная академия пищевых технологий; Кафедра Технологии ресторанного и оздоровительного питания; ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039; тел.: 096-68-67-740; e-mail: adya282@rambler.ru.

Dzyuba Nadya – Candidate of Science (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Associate Professor, Department of Technology restaurant and health food; Odessa National Academy of Food Technologies; str. Kanatna 112, Odessa, Ukraine, 65039; tel.: 096-68-67-740; e-mail: adya282@rambler.ru.

Землякова Олена Володимирівна – старший методист, Одеська національна академія харчових технологій; Кафедра Технології ресторанного і оздоровчого харчування; вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039;

Землякова Елена Владимировна – старший методист, Одесская национальная академия пищевых технологий; Кафедра Технологии ресторанного и оздоровительного питания; ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039; тел.: 097-591-98-77.

Elena V. Zemlyakova, senior methodologist Department of Technology restaurant and health food; Odessa National Academy of Food Technologies. Address: str. Kanatna 112, Odessa, Ukraine, 65039; tel.: 097-591-98-77.

УДК 669.295

И. Ф. ЧЕРВОНЫЙ, Е. А. ГОЛОБОРОДЬКО, В. И. МАМОТЕНКО

ВЫПЛАВКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ (ОБЗОР)

Выполнен анализ технологий и технологического оборудования для выплавки сплавов на основе титана с использованием металлического титана и титана из вторичного сырья. Исходя из требуемых механических и физико-химических характеристик сплавов на основе титана определены преимущественно целесообразные направления использования электронно-лучевой и индукционной плавки разнообразного исходного сырья с обеспечением заданных свойств конечного продукта.

При производстве сплавов на основе титана предусматривается обработка металлического титана в виде титановой губки или переработка титана из вторичного сырья – лома и отходов промышленности.

Ключевые слова: сплав, титан, электронно-лучевая плавка, индукционная плавка, плазменная плавка, вакуумно-дуговая плавка, отходы, лом, примесь

Введение. Титан и его сплавы обладают отличительными особенностями механических, физических и антикоррозионных свойств, которые находят широкое применение во многих областях науки и техники [1].

По распространенности в земной коре титан он занимает четвертое место после люминия, железа и магния, а его распространенность в земной коре составляет около 0,6 %. [2] Титан - металл серебристо-белого цвета, имеющий малую плотность (4,5 г/см³).

Температура плавления титана (1668 ± 4) °С в зависимости от степени его чистоты. Изменение объема производства титана в мире (таблица 1) [3] характеризуется многочисленными свойствами титана, в сравнении с другими металлами: малая плотность, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, технологичность при обработке давлением и свариваемость, хладостойкость, высокая стойкость против солнечной радиации, немагнитность и др.

Таблица 1 – Объем производства титановой губки по странам, тыс. т [3]

Страна	Год								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
США	8	12	20	23	8	8	14	19	24
Украина	8	9	10	10	7	7	9	10	8
Казахстан	20	23	25	24	17	15	21	23	15
Россия	29	32	31	35	27	27	38	41	42
Япония	31	38	39	41	25	32	53	63	42
Китай	9	18	-15	50	41	58	65	102	105
Всего	105	132	173	183	125	147	200	261	236

© И. Ф. Червоний, Е. А. Голобородько, В. И. Мамотенко . 2015

В то же время механические свойства металлического титана существенно зависят от чистоты металла, т.е. от количества и вида примесей в нем. Такие примеси как кислород, азот, углерод, водород являются примесями внедрения, а примеси железа, кремния, алюминия являются примесями замещения. Наличие примесей значительно изменяют физико-химические свойства металлического титана и сплавов на его основе. Особенное влияние на свойства титана и его сплавов оказывают примеси внедрения. Например наличие в титане 0,03 % Н, 0,2 % N или 0,7 % О приводит к утере способности к деформации и к возникновению хрупкого разрушения [2].

Анализ литературы. Титановые сплавы, обла-

дая рядом положительных физико-химических характеристик, находят широкое применение в различных направлениях (рис. 1). Для обеспечения технологических характеристик сплавам в промышленности применяют различные методы введения заданных примесей.

Сплавы производятся двумя направлениями. Первое направление предусматривает обработку металлического титана в виде титановой губки, полученной по методу Кроля - магнийтермический метод восстановления четыреххлористого титана. Второе направление включает переработку титана из лома и отходов промышленности – вторичного титана. Обобщенная схема получения титанового сплава предусматривает следующие операции, рис. 2.

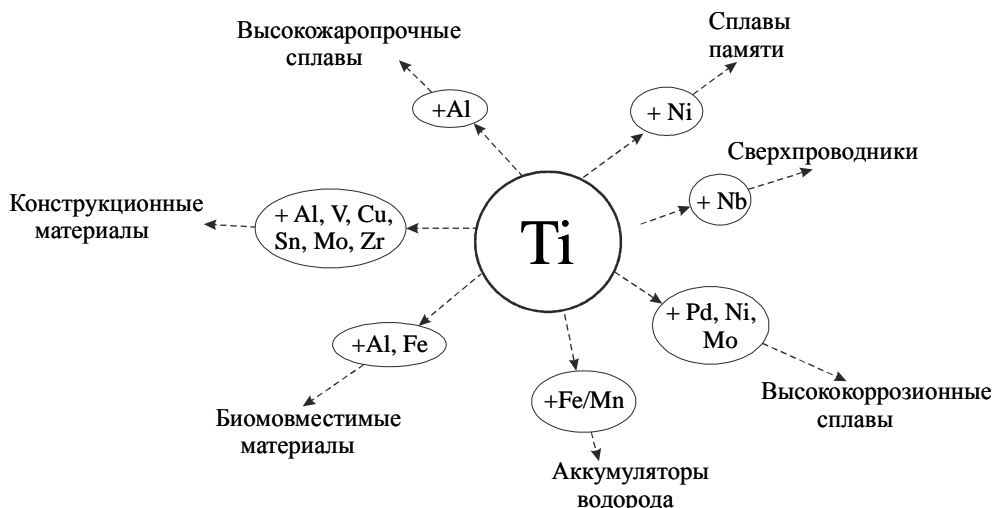


Рис. 1 – Основные типы титановых сплавов и области их применения [4]

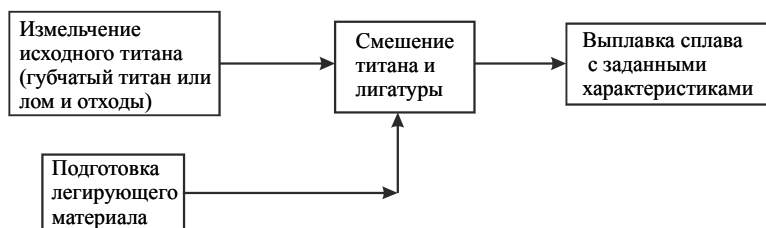


Рис. 2 – Обобщенная схема производства сплавов на основе титана

При обработке титановой губки или титана из вторичного сырья (лом и отходы) в первую очередь решается задача сортировки исходного сырья и подготовки шихты для плавки. При сортировке принимается во внимание виды сырья – первичного или вторичного. После этой операции производится специальная подготовка путем промывки водой или щелочными растворами для удаления поверхностных загрязнений. На следующем этапе производится рафинирования металла от газообразных примесей – кислорода, азота и водорода. На втором этапе в очищенный титан вводится заданный легирующий элемент. Известен ряд работ [1, 5-12], которые включают совмещение операции рафинирования и легирования титана: вакуумно-дуговой переплав, электрошлаковый переплав, плазменная плавка исходной шихты, электроно-лучевая плавка, индукционная плавка.

Вакуумно-дуговой переплав [1] включает дробление титановой губки до фракции размером от 2 до 6 мм, создание шихты с заданным легирующим матери-

алом, брикетирование шихты и направление брикетов в установку дугового переплава. Переплавление брикетов осуществляется в вакуумной среде при давлении от 1,0 до 0,1 Па, что обеспечивает дегазацию газообразных составляющих, а наличие электрической дуги способствует выводу неметаллических включений на поверхность расплава. Такой процесс позволяет получать очищенный кристалл. При этом накопившиеся в верхней части кристалла включения удаляются для дополнительной переработки. Для более глубокой очистки выплавленного кристалла и обеспечения более равномерного распределения легирующих примесей применяют повторный вакуумно-дуговой переплав.

Электрошлаковый переплав [5, 6] производится в печах камерного типа с использованием металлсодержащего флюса. В данном процессе флюс, как шлаковая среда, выполняет рафинирующую, модифицирующую и легирующую функции. Применение фторидов щелочноземельных и щелочных металлов в качестве шлакообразующих флюсов обеспечивают вы-

сокую рафинирующую активность, и обеспечивает удаление из таких примесей как кислород, азот, сера и фосфор. При электрошлаковом переплаве слиток металла крепится вертикально в камере и опускается в расплавленный шлак. Через исходный слиток пропускается ток и на границе слиток-шлак образуется расплав очищаемого металла. В процессе накопления расплава металла составляющие шлака взаимодействуют с расплавом и очищают его. Накопленный под шлаком рафинированный металл периодически выпускают через специальный канал в днище емкости. Такой метод переплава обеспечивает получение металла или сплава высокой чистоты и имеет достаточно высокую производительность.

Плазменный или плазменно-дуговой переплав металла [7, 8] осуществляется за счет его нагрева и расплавления под воздействием энергии плазмы. Плазма, температура которой может изменяться от 2000 до 30000 °С, является источником тепла для обрабатываемого материала. Для создания плазмы применяется плазмотрон, в котором плазмообразующий газ ионизируется электрической дугой между электродом и ванной с расплавом металла. Применяются также плазмотроны, в которых электрическая дуга создается между электродами в плазмотроне, а плазмообразующий газ ионизируется непосредственно в плазмотроне и направляется на ванну с обрабатываемым металлом. В качестве плазмообразующего газа используется, как правило, высокочистый аргон, что обеспечивает чистоту обрабатываемого металла и исключает химическое взаимодействие с окружающей средой.

Плазменные плавки проводят в вакуумных установках, давление в плавильной камере составляет от 0,1 до 1000 Па. Плазменная обработка металла производится следующим образом. В первую ванну подается исходная шихта, состоящая из металлического титана и легирующего материала. Над поверхностью слоя шихты размещается плазмотрон, из которого поток плазмы направляется на слой шихты. За счет теплового воздействия плазмы шихта расплавляется. Наибольшее выделение энергии происходит на поверхности образовавшегося расплава. Такая обработка обеспечивает перегрев расплава и удаление за счет испарения значительного количества примесей. Образующиеся в расплаве конвективные потоки выводят на поверхность новые порции расплава, которые также подвергаются воздействию плазмы и очистке от примесей. После плазменной обработки расплав через специальный желоб сливается в водоохлаждаемый кристаллизатор, где происходит его затвердевание и охлаждение. Для повышения эффективности очистки расплава в плазменных установках предусмотрена промежуточная ванна, расположенная между первой ванной и кристаллизатором. В такой конструкции верхний слой расплава из первой ванны через желоб сливается в промежуточную ванну. Над промежуточной ванной также устанавливается плазмотрон для обработки расплава. Применение промежуточной ванны позволяет (по аналогии с повторной вакуумно-дуговой плавкой) значительно повысить степень очистки металла и обеспечивает более равномерное распределение примесей в кристаллизуемом сплаве.

Электронно-лучевой переплав широко используется в металлургии как эффективный метод получения химически активных и тугоплавких металлов и сплавов, таких как титан, цирконий, ниобий, тантал, молибден и другие [9, 10]. Источником нагрева и расплавления металла в таком методе является электронный луч, создаваемый специальным устройством – электронно-лучевой пушкой. Электронный луч, генерируемый электронной пушкой и обладавая высокими значениями кинетической энергии, попадая на поверхность металла, выделяет большое количество тепла и обеспечивает расплавление металла. Плавление металла производится в вакуумной камере, что исключает контакт расплава с окружающей атмосферой. Для управления потоком электронов в электронной пушке применяются специальные магнитные диафрагмы, что позволяет направлять электронный луч в заданном направлении. Процесс электронно-лучевой переплавки исходного сырья заключается в следующем. Исходная шихта на специальном желобе подается к участку камеры, где начинается воздействие электронного луча. Электронная пушка устанавливается вертикально над желобом и ванной для расплава. После включения электронной пушки электронный луч направляется на торцевую поверхность шихты в желобе и происходит оплавление исходной шихты. Образовавшийся расплав стекает в первую ванну. Электронный луч второй пушки направляется на расплав, находящийся в первой ванне. Обработка расплава в ванне аналогично процессу плазменной обработке расплавов. Преимущества электронно-лучевого переплава, в сравнении с плазменной обработкой, заключается в повышенной управляемости источником энергии – электронным лучом. После первой ванны расплав по специальному желобу сливается в кристаллизатор. Для повышения степени очистки расплава от нежелательных примесей и управляемого ввода легирующих элементов, в установках электронно-лучевой плавки предусматривается промежуточная емкость – вторая ванна. Расплав в промежуточной емкости также обрабатывается электронным лучом и сливается по желобу в кристаллизатор, в котором происходит кристаллизация и охлаждение слитка в заданных температурных условиях.

Индукционная плавка: перечисленные выше методы плавки титана и его сплавов обладают рядом недостатков при плавке особо чистых сплавов. Это связано с возможностью загрязнения сплава возможным поступлением нежелательных примесей из стенок тигля или материала другого контейнера, где производится плавка. Например, при возрастающей потребности в сложнелегированных сплавах, таких как TiAl и TiNi, в которых предъявляются высокие требования химической однородности, проведение плавки вышеперечисленными методами не удается реализовать заданные требования к качеству сплавов. Одним из направлений, обеспечивающих высокие требования к процессу плавки, является индукционная плавка титана и сплавов на его основе. При использовании индукционной плавки расплав не контактирует с энергетическими потоками (дуга, плазма или электронный луч) и исключается возможность локального перегрева или неоднородность теплового поля [11].

Сущность индукционной плавки заключается в расплавлении исходного материала, находящегося в тигле, например, в керамическом тигле, специальным индуктором, который распложен снаружи тигля. Электромагнитное поле индуктора разогревает и расплавляет шихту в тигле. Возникающие электромагнитные потоки расплава обеспечивают его перемешивание и создание однородного по характеристикам расплава и закристаллизованного сплава.

В последние годы выполнены работы по модернизации процесса индукционной плавки в направлении применения процесса плавки в «холодном тигле» [11]. В этом процессе применяется тигель, разделенный на электрически изолированные водоохлаждаемые секции. Конструкция тигля значительно уменьшает контакт расплава со стенками «холодного» тигля, что способствует достижению высокой чистоты получаемого материала. Электромагнитное давление, вызванное электромагнитными силами индуктора, приводит к деформации поверхности расплава и образование выпуклого мениска по высоте расплава. Это обеспечивает свободное состояние расплава без контакта со стенками контейнера. Контакт с контейнером остается только в узкой донной части контейнера. Режимы воздействия электромагнитного поля индуктора на расплав выбираются с учетом обеспечения гомогенного состояния расплава, особенно при введении в него легирующих примесей. Как отмечается в [11], с использованием индукционной плавки в «холодном тигле» были получены слитки из никелида титана (TiNi) – материала, обладающего эффектом памяти. Этот материал широко используется при изготовлении медицинских имплантатов, где весьма важным является восстановление формы в достаточно узком температурном диапазоне.

Инновационным процессом при выплавке сплавов на основе титана в работе [12] предлагается послойное оплавление в индукционной печи блока губчатого титана или шихты из вторичного титанового сырья. При этом расплав стекает с поверхности обрабатываемого образца и направляется в последовательно расположенные емкости для кристаллизации и охлаждения. В этом процессе в каждую емкость попадает расплав с разных участков оплаваемого образца и тем самым происходит управляемое разделение одного крупногабаритного образца на несколько, но с разным количеством примеси. Конструкция емкости для приема расплава имеет специальную коническую форму днища и приводится во вращение. Такая конструкция обеспечивает дополнительную очистку расплава за счет отвода тяжелых примесей на боковую поверхность емкости, а более легкие примеси по конической поверхности всплывают на поверхность расплава. Предлагаемая технология позволяет получать более качественные сплавы с минимальными финансовыми затратами.

Анализ выполненных исследований. Анализ рассмотренных технологий производства сплавов на основе титана позволяет определить наиболее перспективные направления переработки исходного сырья с целью получения сплавов заданного примесного состава и обеспечения необходимых механических и физико-химических его характеристик. Основным

при выборе технологии переработки исходного сырья является выбор легирующего элемента и целевого применения полученного сплава (рис. 2). После установления и принятия решения о применении выбранной технологической цепочки, рассматривается вопрос экономической целесообразности принятого решения.

В тоже время, несмотря на разнообразие технологических приемов, наиболее приемлемыми процессами рассматриваются электронно-лучевой и индукционный методы переработки исходного сырья в виде титановых слитков, губчатого титана или титана из вторичного сырья. Эти методы обладают высокой степенью чистоты процесса, доступного исполнения конструкций плавильных агрегатов и достаточно высокой и управляемой производительностью.

Выводы. На основе изучения требуемых механических и физико-химических характеристик сплавов на основе титана, рассмотрены применяемые в промышленной практике технологические приемы проведения процесса плавки. Преимущественные рекомендации даны в направлении использования электронно-лучевой и индукционной плавки разнообразного исходного сырья с обеспечением заданных свойств конечного продукта.

Список литературы: 1. Titanium alloy guide [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://www.rtiintl.com/Titanium/RTI-Titanium-Alloy-Guide.pdf>. – 10.12.2015 2. Титановые сплавы. Основные характеристики [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://libmetal.ru/titan/titan%20osnprop.htm>. – 04.12.2015 3. Динамика производства губчатого титана [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://smart-lab.ru/uploads/images/01/18/31/2014/07/03/8dec28.jpg>. – 02.12.2015 4. Титановые деформированные сплавы [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://libmetal.ru/titan/ti%202.jpg>. – 11.12.2015 5. Рябинин, А. В. Перспективы электрошлакового переплава титана [Текст] / А. В. Рябинин // Специальная металлургия: вчера, сегодня, завтра. 2010. – С. 30–36. Режим выборки: http://www.fhotm.kpi.ua/sworks/05/ryabinin_article_2010.pdf 6. Рябцев, А. Д. Рафинирование титана при электрошлаковом переплаве [Электронный ресурс] / А. Д. Рябцев, А. А. Троянский // Режим выборки: <http://science.donntu.org/data/mainmenu/innovations/002-DonNTU-Ryabcev.pdf>. – 25.09.2015 7. Samuelsson, E. Plasma Cold Hearth Remelting of UDIMET Alloy 718 [Text] / E. Samuelsson, G. E. Maurer, M. E. Schlienger, R. E. Haun, J. S. Krafcik / – Режим выборки: http://www.tms.org/superalloys/10.7449/1992/Superalloys_1992_195_204.pdf. – 10.12.2015 8. Plasma coating. Aluminium titan oxide [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://www.plasmajet.be/en/services/thermal-spray-coatings/plasma-coating/> – 11.12.2015 9. Ковальчук, Д. В. Электронно-лучевой переплав титана – проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] / Д. В. Ковальчук, Н. П. Кондратий // Режим выборки: file:///C:/Users/Иван/Downloads/Doklad_SHERVONA_KHVilya_na_konferentsii_Ti-2008_v_SNG.pdf. – 11.12.2015 10. Патон, Б. Е. Производство крупнотоннажных слитков титановых сплавов методом электронно-лучевой плавки [Текст] / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин // Титан, 2010. – No 2 (27). – С. 31–35. 11. Александров, А. В. Основы плавки титана и сплавов на его основе в установке с холодным тиглем [Текст] / А. В. Александров, Е. А. Афонин, С. А. Делло, М. Ю. Коллеров, В. В. Константинов, С. Ю. Кузнецов, И. С. Польшкин // Титан, 2010. – No 2 (27). – С. 36–41. 12. Волков, А. Е. Новая технологическая схема производства высококачественных титановых сплавов из отходов и недробленной губки [Текст] / А. Е. Волков // Титан, 2010. – No 2 (27). – С. 42–49.

Bibliography (transliterated): 1. Titanium alloy guide [Elektronnyy resurs] / Rezhim vyiborki: <http://www.rtiintl.com/Titanium/RTI-Titanium-Alloy-Guide.pdf>. – 10.12.2015 2. Titanovyye splavy. Osnovnyye harakteristiki [Elektronnyy resurs] / Re-zhim vyiborki: http://libmetal.ru/titan/titan_osnprop.htm. – 04.12.2015 3. Dinamika proizvodstva gubchatogo titana [Elektronnyy resurs] / Rezhim vyiborki:

<http://smart-lab.ru/uploads/images/01/18/31/2014/07/03/8dec28.jpg>. - 02.12.2015 4. Titanovyye deformirovannyye splavyi [Elektronnyy resurs] / Rezhim vyiborki: http://libmetal.ru/titan/ti_2.jpg. - 11.12.2015 5. Ryabinin, A. V. Perspektivnyy elektroshlakovogo pereplava titana [Tekst] / A. V. Ryabinin // Spetsialna metallurgiya: vchora, sododni, zavtra. 2010. - S. 30-36 / Rezhim vyiborki: http://www.fhotm.kpi.ua/sworks/05/ryabinin_article_2010.pdf 6. Ryabitshev, A. D., Troyanskiy, A. A. (2015). Rafinirovaniye titana pri elektroshlakovom pereplave. Rezhim vyiborki: <http://science.donntu.org/data/mainmenu/innovations/002-DonNTU-Ryabceev.pdf>, 25.09.2015 7. Samuelsson, E., Maurer, G. E., Schlienger, M. E., Haun, R. E., Krafcik, J. S. (2015). Plasma Cold Hearth Remelting of UDIMET Alloy 718. Rezhim vyiborki: http://www.tms.org/superalloys/10.7449/1992/Superalloys_1992_195_2_04.pdf 8. Plasma coating. (2015). Aluminium titan oxide. Rezhim vyiborki:

<http://www.plasmajet.be/en/services/thermal-spray-coatings/plasma-coating/>. 9. Kovalchuk, D. V., Kondratiy, N. P. (2015). Elektronno-luchevoyy pereplav titana – problemy i perspektivy razvitiya. Rezhim vyiborki: [file:///C:/Users/Ivan/Downloads/Doklad CHervona KHvilya na konferentsii Ti-2008 v SNG.pdf](file:///C:/Users/Ivan/Downloads/Doklad%20CHervona%20KHvilya%20na%20konferentsii%20Ti-2008%20v%20SNG.pdf). 10. Paton, B. E., Trigub, N. P., Ahonin, S. V. (2010). Proizvodstvo krupnotonnaznykh slitkov titanovykh splavov metodom elektronno-luchevoyy plavki. Titan, No 2 (27), 31–35. 11. Aleksandrov, A. V., Afonin, E. A., Dello, S. A., Kollerov, M. Yu., Konstantinov, V. V., Kuznetsov, S. Yu., Polkin, I. S. (2010). Osnovy plavki titana i splavov na ego osnove v usta-novke s holodnyim tiglem. Titan, No 2 (27), 36–41. 12. Volkov, A. E. (2010). Novaya tehnologicheskaya shema proizvodstva vyisokokachestvennykh titanovykh splavov iz othodov i nedrobnoy gubki. Titan, No2 (27), 42–49.

Поступила (received) 23.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Червоний Іван Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Запорозька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, г. Запоріжжя, Україна, 69006; тел.: (061) 227-12-27; e-mail: rot44@yandex.ru.

Червоний Іван Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Запорізька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006;

Chervony Ivan – doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department; Zaporozhe State Engineering Academy; Department of Non-Ferrous Metallurgy; Lenin 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006;

Голобородько Єлизавета Арсенівна – студент, Запорозька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, г. Запоріжжя, Україна, 69006.

Голобородько Єлизавета Арсенівна – студент, Запорізька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006.

Goloborodko Elizaveta – student, Zaporozhe State Engineering Academy; Department of Non-Ferrous Metallurgy; Lenin 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006

Мамотенко Владлена Ігорівна – студент, Запорозька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, г. Запоріжжя, Україна, 69006.

Мамотенко Владлена Ігорівна – студент, Запорізька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006.

Mamotenko Vladlena – student, Zaporozhe State Engineering Academy; Department of Non-Ferrous Metallurgy; Lenin 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006

УДК 644.8:658.562.5

А. Н. ЗАГОРУЛЬКО, А. Е. ЗАГОРУЛЬКО, Л. В. КИПТЕЛЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИК-СУШИЛОК

В работе представлены исследования основных этапов проектирования тепловых аппаратов, поскольку существующие ИК-сушилки имеют недостатки в виде большой производительности, длительной тепловой обработки, значительной энерго- и металлоемкостью, а так же не обеспечивают равномерность тепловых потоков на приемных поверхностях. В связи с этим возникает актуальность в детальном исследовании этапов проектирования современных автоматизированных энергоэффективных ИК-сушилок периодического и непрерывного действия для производства высококачественных сушеных полуфабрикатов из растительного плодоягодного сырья.

Ключевые слова: этапы, проектирование, разработка, ИК-сушилка, растительное плодоягодное сырье, оптимальная форма, равномерность.

Введение. Существующие ИК-аппараты характеризуются длительностью тепловой обработки, энерго- и металлоемкостью, а так же не обеспечивают равномерность тепловых потоков на приемных поверхностях. В связи с этим возникает актуальность в детальном исследовании этапов проектирования современных автоматизированных энергоэффективных ИК-аппаратов. Основной проблемой при разработке ИК-сушилок для сушки растительного сырья является: фиксированные геометрические размеры (формы аппаратов), не равномерность температурного поля на приемных поверхностях, а так же отсутствует возможность использования вторичного воздуха с пользой для технологического процесса. Возникают также сложности в ходе автоматизации процесса сушки с

использованием инерционных генераторов (ТЕНы, кварцевые лампы), имеющих высокую температуру рабочей поверхности, что усложняет конструкцию аппаратов и снижает качество продукции [1-4].

Природным источником для производства сушеных полуфабрикатов с большим содержанием БАВ является растительное плодоягодное сырье, обладающее так же лечебно-профилактическими свойствами [5-6].

Целью работы является исследование этапов проектирования энергоэффективных ИК-сушилок.

Методика экспериментов. Для достижения поставленной цели работы ассистентом кафедры про-

© А. Н. Загорюлько, А. Е. Загорюлько, Л. В. Киптеля. 2015

цессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств Харьковского государственного университета питания и торговли были проведены экспериментальные исследования по определению основных этапов

проектирования энергоэффективных аппаратов на базе созданных и разработанных ИК-сушилок (рис. 1), а так же анализ полученных результатов в современных компьютерных программах.



Рис. 1 – Пошаговые этапы исследований по проектированию энергоэффективных ИК-сушилок

В первом этапе исследований была разработана экспериментальная ИК-сушилка с верхним расположением рефлектора (рис. 2), состоящая из рабочей камеры 1, рефлектор 2, направляющих для лотков 3, патрубка отведения конденсата 4, кварцевого ИК-излучателя 5, лотка с продуктом 6, термопары 7, регулятора температуры ТРМ 8 и монтажной шпильки 9.

В начале исследований сначала определялась начальная влажность образца, после чего растительное сырье (яблоко) сушилось под кварцевым излучателем с взвешиванием каждые пять минут. Сушка длилась до достижения установившейся массы.

В результате проведенных исследований были определены основные факторы, уровни и интервалы их варьирования, которые в значительной степени влияют на сушку органического сырья. В качестве основных были выбраны следующие параметры: X_1 – расстояние от излучателя до продукта; X_2 – расстояние от излучателя до отражателя; X_3 – длительность процесса; X_4 – высота слоя продукта. Уровни и интервалы варьирования факторов ИК-сушки представлены в табл. 1.

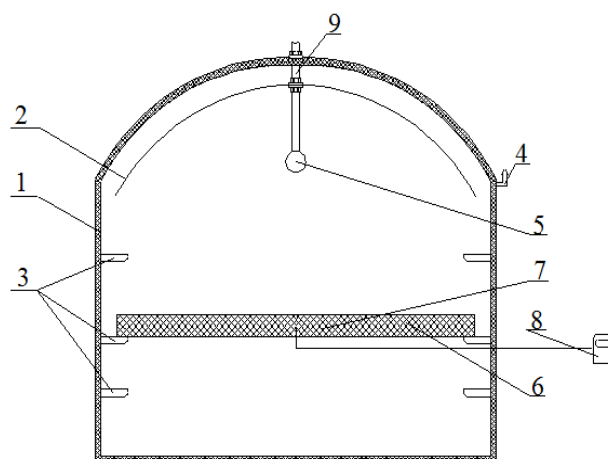


Рис. 2 – Экспериментальная ИК-сушилка с верхним расположением рефлектора: 1 – рабочая камера; 2 – рефлектор; 3 – направляющие для лотков; 4 – патрубок для отведения конденсата; 5 – кварцевый ИК-излучатель; 6 – лоток с продуктом; 7 – термопары; 8 – регулятор температуры ТРМ-101; 9 – монтажная шпилька

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов ИК-сушки

Уровень	Фактор			
	Расстояние от излучателя до продукта X_1 , мм	Расстояние от излучателя до отражателя X_2 , мм	Продолжительность сушки X_3 , мин	Высота слоя продукта X_4 , мм
Основной	225	25	30	7
Верхний	275	75	90	17
Нижний	175	50	150	24

Функцией отклика Y была выбрана окончательная влажность продукта, которая стабилизировалась в процессе сушки. В результате статистической обработки экспериментальных данных было получено линейное уравнение регрессии (1), которое отражает взаимодействие между факторами эксперимента и откликом:

$$Y = 45,0866 + 0,0441 \cdot X_1 - 0,0347 \cdot X_2 - 0,2825X_3 - 8,3972 X_4 \quad (1)$$

Гипотеза является достоверной, на что указывает критерий Фишера ($F < 5\%$). Так же было исследовано влияние геометрической формы рефлекторов на равномерность распределения теплового потока на приемных поверхностях, изменении высот размещения линейного кварцевого ИК-излучателя и приемной поверхности (сетчатого поддона), согласно указанных параметров для этих условий (рис. 3) на смену влагосодержания растительного сырья, продолжительность процесса и качество полученной продукции.

Представлена проекция ИК-лучей и распределение теплового потока на приемную поверхность при использовании цилиндрического в рабочей камере полученная с помощью компьютерной программы TracePro (рис. 4, 5), при расстоянии линейного кварцевого ИК-излучателя – 50 мм, высоте приемной поверхности – 175 мм и толщине слоя растительного сырья 1,7 мм.

Данные высоты расположения ИК-излучателя и приемной поверхности обеспечивают равномерное температурное поле, а видимые пиковые зоны интенсивного нагрева находятся за пределами поддона и не влияют на качество полученной продукции.

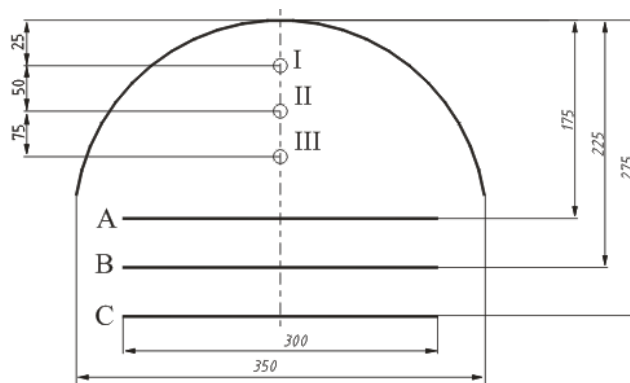


Рис. 3 – Схема геометрического расположения кварцевого ИК-излучателя и приемной поверхности

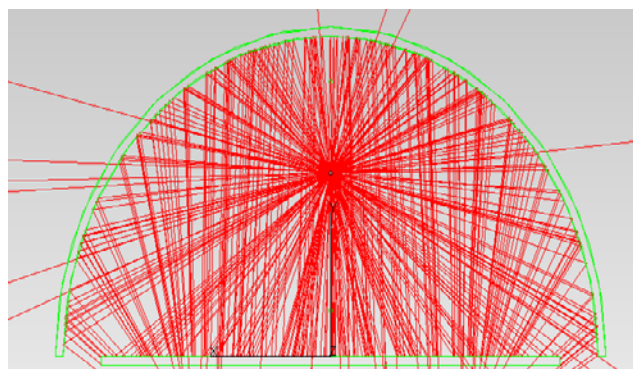


Рис. 4 – Проекция ИК-лучей теплового потока на приемную поверхность при использовании цилиндрического рефлектора

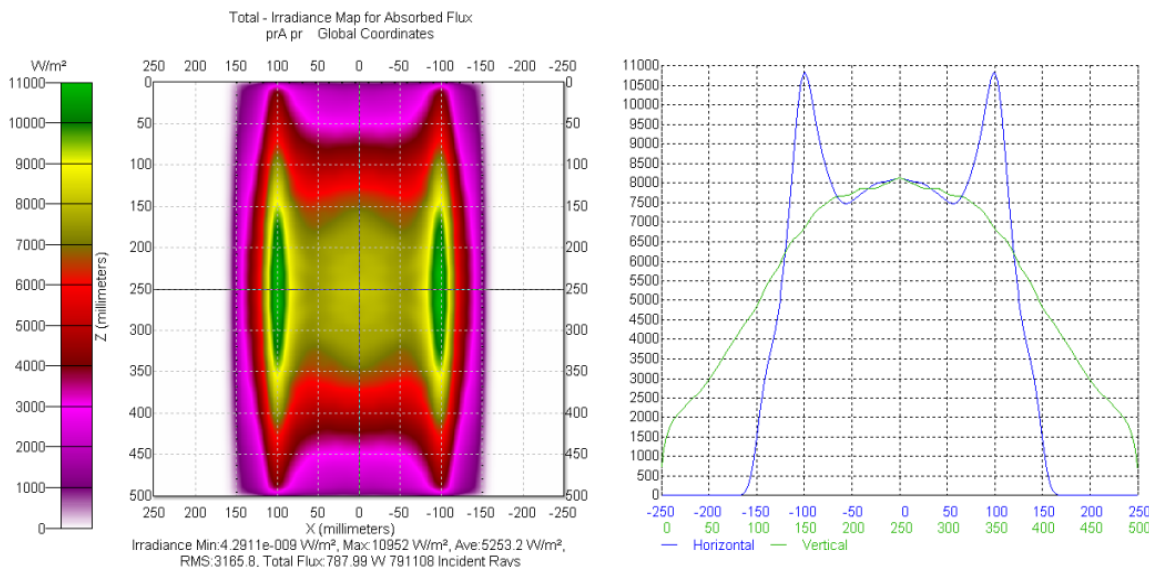


Рис. 5 – Распределение теплового потока на приемной поверхности при использовании цилиндрического рефлектора

Недостатком данной установки является небольшая производительность за счет установки только одного лотка, снижение коэффициента отражения рефлектора за счет попадания на его поверхность конденсата.

Детальный анализ полученных результатов ИК-сушилки с верхним расположением рефлектора позволил модернизировать установку за счет изменения геометрического размещения рефлектора в плоскости ИК-сушилки.

Было предложено вынести рефлектор за границы приемной поверхности. Усовершенствованная ИК-сушилка, представленная на рис. 6 состоит из теплоизолирующего корпуса 1, лотков с продуктом 2, направляющих для лотков 3, нагнетателя воздуха 4, распределительной решетки для потока воздуха 5, рефлектора 6, ИК-излучателей 7, патрубка для отвода конденсата 8 и стоек 9 [7].

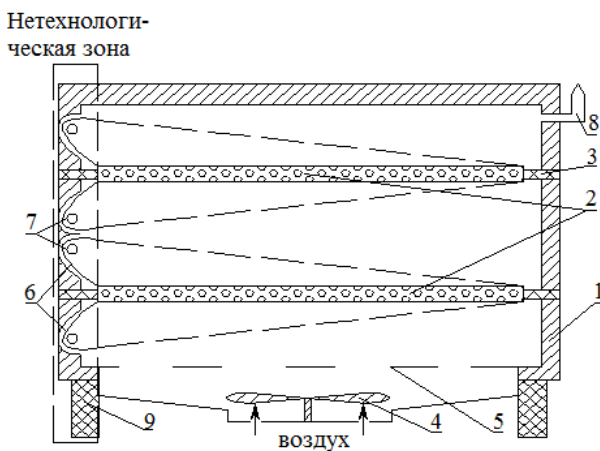


Рис. 6 – ИК-сушилка с вынесенными рефлекторами за пределы приемной поверхности

Разрез теплотехнической системы ИК-сушилки, проведенный нормально к осям излучателей, показан на рис. 7 и состоит из кварцевых излучателей 1, рефлекторов 2 и плоского приемника тепловых лучей (лотка с сырьем) 3.

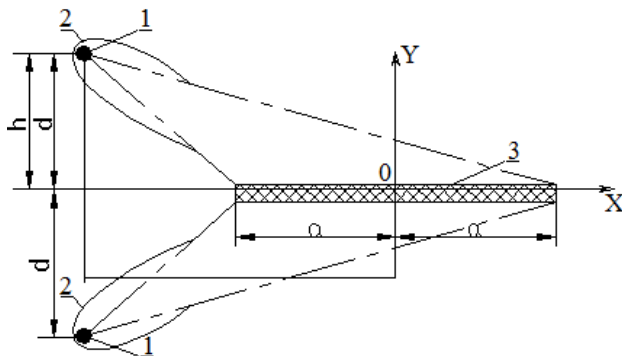


Рис. 7 – Схема разреза теплотехнической системы ИК-сушилки

Определим профили двух цилиндрических рефлекторов при условии, что плотность облучения приемной поверхности является постоянной величиной во всех точках на его поверхности. Исследования

проводили в двухмерной постановке, где: a – половина ширины приемника 3, h – высота расположения излучателей над поверхностью рабочего тела, d – расстояние от концов излучателей до середины приемника (при условии, что $h = d$ в геометрическом расположении).

Очевидно, что плотность облучения рабочего тела состоит из двух величин:

$$q = q_1(x) + q_2(x), \quad (2)$$

где $q_1(x)$ – плотность облучения приемника лучами, которые поступают непосредственно от излучателя; $q_2(x)$ – плотность облучения приемника лучами, которые отражаются от поверхности рефлекторов.

Исходя из этого, получаем:

$$\begin{aligned} q_1(x) &= q_{1L}(x) + q_{1R}(x), \\ q_2(x) &= q_{2L}(x) + q_{2R}(x), \end{aligned} \quad (3)$$

где $q_{1L}(x)$ – плотность излучения верхнего ИК-излучателя; $q_{1R}(x)$ – плотность излучения нижнего ИК-излучателя.

При вынесении рефлекторов за приемную поверхность лотка обеспечивается равномерное температурное поле на нижней и верхней поверхностях приемного лотка, что позволило увеличить высоту слоя продукта и интенсифицировать процесс сушки без применения вибрации [5, 6].

Недостатком данной сушилки является образование нетехнологической зоны со стороны расположения блока рефлекторов (рис. 6), что приводит к увеличению металлоемкости, трудности замены контактных дорожек ИК-излучателей.

Данные исследования позволили разработать и спроектировать две конструкции энергоэффективные ИК-сушилок, а именно:

- Вальцовых ИК-сушилка непрерывного действия (рис. 8) для сушки предварительно концентрированных многокомпонентных паст с содержанием сухих веществ – 28...30 СР и последующим досушиванием до окончательного влагосодержания 6...8 %. Предложенный аппарат работает в комплексе с роторно-пленочным аппаратом (РПА), который предназначен для размещения на линиях производства сушеных порошкообразных полуфабрикатов из растительного сырья.

- «Вертикальная цилиндрическая ИК-сушилка» (ВЦ-ИК-20) периодического действия с возможностью 85% -го использования вторичного воздуха и встряхивания с целью перемешивания и предотвращения слипания сырья при термической обработке (рис. 9). Разработанная конструкция предназначена, прежде всего, для использования в небольших фермерских хозяйствах расположенных непосредственно у роста и переработки растительного сырья или в домашнем быту [8].

Установка состоит из вертикальной цилиндрической рабочей камеры 1, стоек 2, распределительной решетки 3 для поступления потока свежего воздуха, регулирующей заслонки 4, встряхивающего ролико-

вого механизма 5, кольцевого барботера 6, продольных рабочей камере гибких карбоновых прямоугольных ИК-излучателей 7, отражающей фольги с теплоизолирующим листовым алюфомом 8, крышки с затяжными фиксаторами 9, вытяжного вентилятора 10, нагнетающего канала 11, регулирующей задвижки 12, монтажных шпилек 13, фиксатора 14, штатива 15 и сетчатых лотков 16.

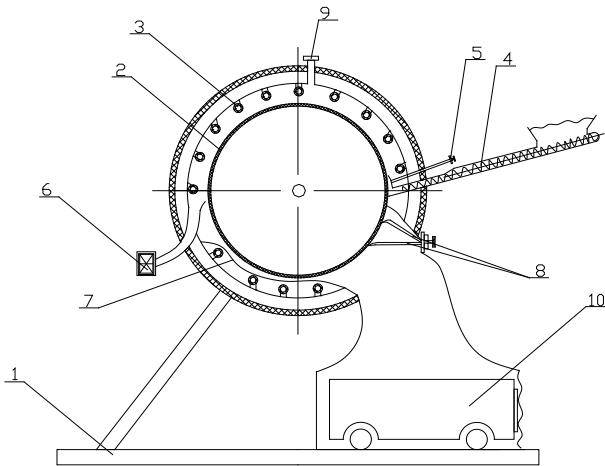


Рис. 8 – Вальцовая ИК-сушилка для сушки многокомпонентных паст

Работа аппарата ВЦ-ИК-20 заключается в следующем: растительное сырье загружается на сетчатые лотки 14, которые фиксируются с помощью монтажной шпильки 16 на штативе 13. После этого штатив с лотками устанавливается в фиксирующем устройстве 12 крышки 8 с затяжными фиксаторами и вытяжным вентилятором 10 и загружается в цилиндрическую вертикальную рабочую камеру ИК-сушилки 1, установленной на стойках 2, где сырье сушится при температуре 40...60 °С. Отработанный нагретый воздух, подается вентилятором 10, установленным в вытяжной улитке по нагнетающему каналу 11 в трубчатый теплообменник 4, установленный в нижней нетехнологической зоне сушилки и предназначен для подогрева свежего воздуха на 5 °С.

Разработанный механизм для встряхивания сетчатых поддонов 5, встряхивающий сетчатые лотки 14, предотвращая слипание сырья, а также интенсифицируя процесс ИК-сушки растительного сырья.

Для интенсификации сушки растительного сырья вертикальная ИК-сушилка оборудована встряхивающим роликовым механизмом, используемым для перемешивания и предотвращения слипания продукта.

С целью определения равномерности распределения теплового потока на приемных поверхностях (сетчатых поддонах с растительным сырьем) применяли компьютерную программу TracePro, которая основывается на утверждении – угол падения луча равен углу отражения. Программа случайным образом выбирает точки на поверхности излучателей и направление движения лучей и автоматически вычисляет их траекторию. На (рис. 10) представлено распределение тепловых потоков на приемных поверхностях в ВЦ-ИК-20.

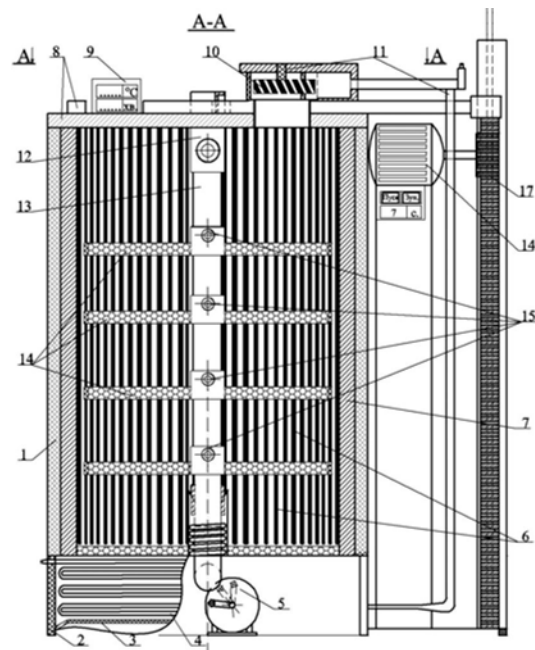


Рис. 9 – Вертикальная цилиндрическая ИК-сушилка ВЦ-ИК-20: 1 – вертикальная цилиндрическая рабочая камера; 2 – стойки; 3 – распределительная решетка для поступления свежего воздуха; 4 – трубчатый теплообменник; 5 – механизм для встряхивания; 6 – продольные рабочей камере ИК-излучатели; 7 – отражающая фольга с теплоизолирующим листовым алюфомом; 8 – крышка с затяжными фиксаторами; 9 – блок САУ; 10 – вентилятор, установленный в вытяжной улитке; 11 – нагнетающий канал; 12 – фиксатор; 13 – штатив; 14 – сетчатые лотки; 15 – подъемный механизм; 16 – монтажные шпильки; 17 – прямоугольная направляющая

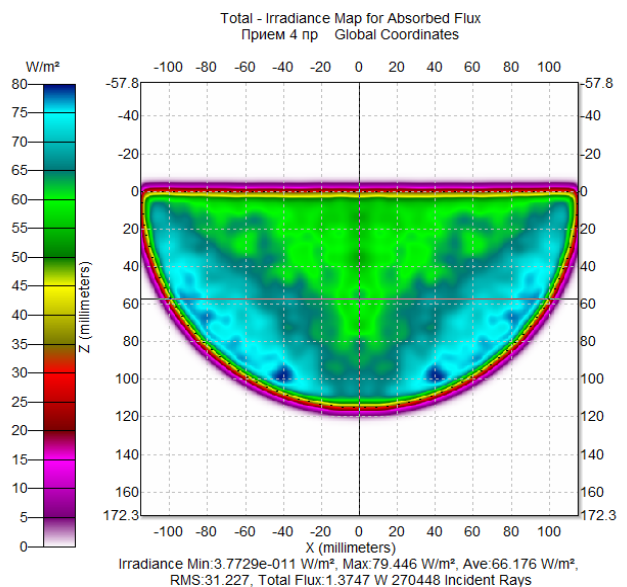


Рис. 10 – Распределение тепловых потоков на приемной поверхности

Таким образом, констатируем, что все точки рабочей поверхности, как это и предсказывала теория, прогреваются равномерно, а незначительная неравномерность, которая изображается изменением цвета отдельных участков при переходе от одной точки рабочей поверхности к другой, объясняется погрешностями метода вычислений, используемого программой TracePro

Для подтверждения равномерности распределения теплового потока были получены в реальном времени результаты температурных параметров на приемной поверхности (сетчатого поддона) со следующей схемой расположения термопар на его поверхности с помощью контрольно-измерительного комплекса ТРМ 101 (рис. 11). Предложенное

расположение термопар позволяет получать полную визуальную картину в реальном времени с помощью компьютерного интерфейса RS-485, относительно равномерности температурного поля на приемной поверхности в процессах ИК-сушки растительного сырья [9–10].

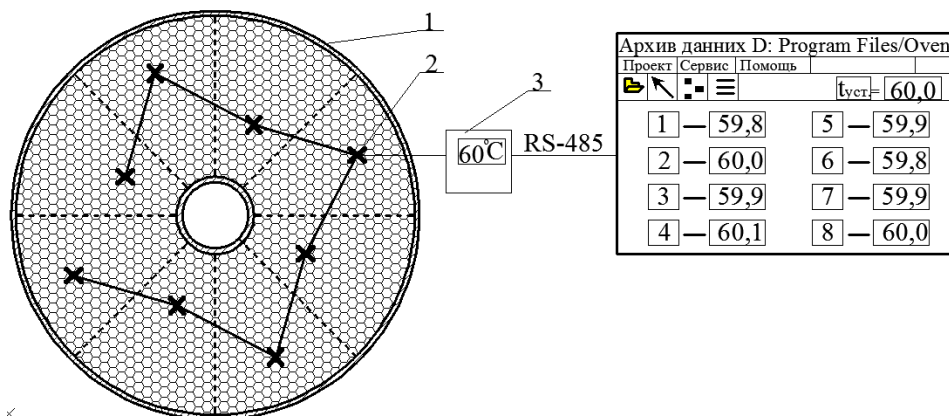


Рис. 11 – Схема размещения термопар на приемной поверхности (сетчатого поддона) с указанием в реальном времени температурного параметра (60 оС)

Анализируя полученные данные с контрольно-измерительного прибора ТРМ101, можно утверждать, что обеспечивается равномерность теплового потока на приемных поверхностях, а незначительное отклонение температурного поля от установленного температурного параметра в 60 оС, можно считать в условиях экспериментальной погрешности, поскольку колебания составляет температурной разницы составляет: 2...1 °С и является не значительным (в пределах ошибки эксперимента).

Выводы. Данные исследования позволили разработать оптимальные конструкции энергоэффективных ИК-сушилок непрерывного и периодического действия, которые имеют следующие преимущества: равномерный тепловой поток по всей приемной поверхности с растительным сырьем (в лотках и между ними) за счет геометрических формы ИК-сушилок; возможность использования вторичного (нагретого) воздуха и встряхивания для интенсификации процессов ИК-сушки растительного плодоягодного сырья; низкая энерго- и металлоемкость конструкций аппаратов по сравнению с существующими аналогами.

Список литературы: 1. Шаззо, Р. И. Продукты детского питания из растительного и мясного сырья инфракрасной сушки. Хранение и переработка сельхозсырья [Текст] / Р. И. Шаззо, Г. П. Овчарова. – 2005. – No 1. – С. 50–52. 2. Jaros, M. Theoretical models for fluid-bed drying of cut vegetables [Text] / M. Jaros, S. Pabis // Biosyst. – 2006. – Eng. 93. – pp. 45–55. 3. Лыков, А. В. Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 471 с. 4. Касаткин, В. В. Сушка термостабильных материалов на установках непрерывного действия

[Текст] / В. В. Касаткин, И. Ш. Шумилова // Пищевая промышленность. – 2006. – No 10. – С. 12–13. 5. Александян, И. Ю. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование [Текст]: монография / И. Ю. Александян, А. А. Буйнов. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. – 380 с. 6. Pabis, S. The first period of convection drying vegetables and the effect of shape-dependent shrinkage [Text] / S. Pabis, M. Jaros // Biosyst. – 2002. – Engin. 81. – pp. 201–21. 7. Киптелая, Л. В. ИК-сушка плодоягодного сырья [Текст] / Л. В. Киптелая, А. Н. Загорулько // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – Вып. 2. – С. 80–86. 8. ІЧ-сушарка органічної рослинної сировини [Текст]: Патент No 106461 Україна, А23N 12/08 B01D 1/00 / Черевко О. І., Киптєлая Л. В., Загорулько А. М., (Україна). – No a 2013 14949; заявл. 20.12.2013; опубл. 26.08.2014, Бюл. No 16. – 3 с. 9. Мачкаши, А. Лу- чистое отопление [Текст] / А. Мачкаши, Л. Банхиди. – М.: Стройизд-дат, 1985. – 464 с. 10. Брамсон, М. А. Инфракрасное излучение нагретых тел [Текст] / М. А. Брамсон. – М.: Наука, 1965. – 222 с.

Bibliography (transliterated): 1. Shazzo, R. I., Ovcharova, H. P. (2005). Produkty detskoho pitaniia iz rastitel'noho i miasnoho syr'ia infrakrasnoi sushki. Khranenie i pererabotka sel'khozsyry'a, 1, 50–52. 2. Jaros, M., Pabis, S. (2006). Theoretical models for fluid-bed drying of cut vegetables. Biosyst. Eng. 93: pp. 45–55. 3. Lykov, A. (1968). Theory of Drying. Moscow: Energia, 471. 4. Kasatkin, V., Shumilova, I. (2006). Drying heat-sensitive materials in a continuous action. Food and Beverage, 10, 12–13. 5. Aleksanyan, I. Y., Bujnov, A. A. (2004). High-intensity drying foods. Penosushka. Theory. Practice. Modelling. Astrakhan Univ ASTU, 380. 6. Pabis, S., Jaros, M. (2002). The first period of convection drying vegetables and the effect of shape-dependent shrinkage. Biosyst. Engin. 81: pp. 201–211. 7. Kiptelaya, L., Zagorulko, A. (2014). YK-sushka plodoiahodnoho syria. Nauchnyi zhurnal NYU YTMO. Seryia Protessy y apparaty pyshecheykh proizvodstv, 2, 80–86. 8. Cherevko, A., Kiptela, L., Zagorulko, A. (2014). IR drying of organic plant material. Patent No 106 461 Ukraine, A23N 8/12 1/00 V01D. No a 2013 14949. Appl. 12/20/2013. Bull. No 16, 3. 9. Machkashi, A., Banhidi, L. (1985). Radiant heating. Moscow: Stroyizdat, 464. 10. Bramson, M. (1965). Infrared radiation from hot bodies. Moscow: Science, 222.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Загорулько Андрей Николаевич – ассистент, Харьковский государственный университет питания и торговли, кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, ул. Клочковская 333, г. Харьков, 61051; тел.: (050) 547-41-73; e-mail: match_andrey@mail.ru.

Загорулько Андрій Миколайович – асистент, Харківський державний університет харчування та торгівлі, кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, вул. Клочківська 333, м. Харків, 61051;

Zagorulko Andrey – assistant, Kharkov State University of Food Technology and Trade, assistant of processes, devices and automation of food production, st. Klochkovskaya 333, Kharkov, 61051; tel.: (050) 547-41-73;

Загорулько Алексей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский государственный университет питания и торговли, кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств ул. Клочковская 333, г. Харьков, 61051; тел.: (093) 827-38-66; e-mail: panamari@mail.ru.

Загорулько Олексій Євгенович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський державний університет харчування та торгівлі, кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв вул. Клочківська 333, м. Харків, 61051; тел.: (093) 827-38-66; e-mail: panamari@mail.ru.

Zagorulko Aleksey – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv State University of Food and Trade, an assistant professor of processes, devices and automation of food production, st. Klochkovskaya 333, Kharkov, 61051;

Киптелая Людмила Васильевна – доктор технических наук, профессор, кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли ул. Клочковская 333, г. Харьков, 61051; тел.: (067)-988-51-52; e-mail: Kiptelaya@mail.ru.

Киптела Людмила Василівна – доктор технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування та торгівлі, кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв вул. Клочківська 333, м. Харків, 61051; тел.: (067)-988-51-52; e-mail: Kiptelaya@mail.ru.

Kiptelaya Lyudmila – Professor, Doctor of technical sciences, Kharkiv State University of Food and Trade, an assistant professor of processes, devices and automation of food production, st. Klochkovskaya 333, Kharkov, 61051;

УДК 577.152.3 + 663.15

Т. С. ТОДОСІЙЧУК, О. М. ДУГАН

ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ОТРИМАННЯ ІММОБІЛІЗОВАНОГО ГІДРОЛІТИЧНОГО ФЕРМЕНТНОГО ПРЕПАРАТУ

Робота присвячена дослідженню технологічних режимів іммобілізації гідролітичного ферментного комплексу (ГФК) з *Streptomyces albus* адсорбційним методом на аеросилі. Встановлено вплив температури, концентрації носія (аеросилу марки А-300) та тривалості іммобілізації на ефективність процесу та активність ферментного комплексу. Досліджена можливість іммобілізації ферментного комплексу безпосередньо в ході біотехнологічного процесу та показано її переваги порівняно з адсорбцією з розчину готового ферментного препарату. Результати дослідження можуть бути використані при розробці нормативно-технічної документації на виробництво іммобілізованого гідролітичного ферментного препарату (ГФП).

Ключові слова: гідролітичні ферменти, іммобілізація, абсорбція, літична активність, параметри, ферментний препарат.

Вступ. Гідролітичні ферменти знайшли застосування в широких галузях промисловості, медицини, народного господарства та науки завдяки своїй здатності до деградації різноманітних субстратів [1, 2]. Однак, у технології та медицині довгий час використовували препарати нативних ферментів, що обмежувало термін та умови їх використання. Іммобілізовані препарати, на відміну від нативних, мають ряд переваг: підвищена ефективність і стабільність, зручність та тривалість застосування [3-5]. Лише основні вказані переваги обумовлюють інтерес науковців до пошуку оптимальних умов іммобілізації різних гідролаз та виправдовують витрати на тривалі дослідження та розробку їх технологій.

Використання мікробного біосинтезу для отримання гідролітичних ферментів за своїми економічними показниками значно перевищує інші способи. Тому, доцільним є розробка мікробних ферментних препаратів, а суттєвими параметрами удосконалення біотехнологій іммобілізованих гідролаз є підбір оптимального носія, умов і режимів іммобілізації, зниження витрат на стадіях виділення продукту. Актуальність роботи в даному напрямку обумовлюється відсутністю вітчизняних біотехнологій іммобілізованих гідролітичних препаратів, реалізованих у промисловості. Поряд з цим важливе науково-практичне зна-

чення має дослідження методів модифікації ферментів з метою створення препаратів із високою активністю та контрольованою специфічністю.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Високий рівень витрат на виділення ферментних препаратів надає особливого значення вибору оптимальних шляхів отримання продукту. Вибір методів виділення у першу чергу залежить від фізико-хімічних властивостей культуральної рідини (КР), характеристик ферменту та вимог до його товарної форми (ступеня чистоти), а також пов'язаний з економічністю процесів.

Культуральна рідина, яку отримують після культивування продуцентів ферментів, містить велику кількість баластних речовин. В сільському господарстві можна використовувати практично неочищені ферментні препарати, але в таких галузях як харчова, текстильна промисловості й, особливо, в медицині використовують лише очищені препарати ферментів, частково або повністю звільненні від баластних речовин [4, 6]. При отриманні очищених ферментних препаратів біомасу продуценту разом із залишками поживного середовища відділяють фільтруванням, центрифугуванням або сепарацією.

Виділення ферментів з концентрованих розчинів можливо здійснити методом адсорбції. Цей метод до-

зволяє концентрувати та розділяти ферменти. Найкращі умови сорбції створюються при наявності спорідненості сорбуючого матеріалу до ферменту. Широке застосування мають іонообмінні смоли, а також різні іономісткі матеріали органічного та неорганічного походження, такі як: крохмаль, целюлоза, декстран, карбоксиметилцелюлоза, сефадекси, селікагель, бентоніт, глауконіт та інші. Для виділення амілази, наприклад, оптимальним сорбентом є модифікований крохмаль, що сорбує лише амілазу, для якої є субстратом. Модифікований крохмаль застосовується для розділення амілаз і протеїназ [7, 8].

Комбінування різних методів виділення та очистки є типовим прийомом в технології ферментних препаратів, що дозволяє оптимізувати процес отримання високоочищених продуктів.

Так, із супернатанту культури *Trichoderma harzianum* CECT 2413 були виділені три білка з хітиною активністю [9]. Очистку проводили осадженням сульфатом амонію, адсорбцією на колоїдному хітині з наступним його розщепленням адсорбованими ферментами і хроматофокусуванням.

Оскільки одним з методів іммобілізації є адсорбція на нерозчинних носіях, цей варіант виділення ферментів після виробничого біосинтезу може розглядатися одночасно й як метод отримання препаратів з підвищеною реактивністю і стабільністю [5, 7]. Головний недолік цього методу полягає в тому, що фермент може зв'язуватися з носієм недостатньо міцно. Десорбцію ферменту можуть викликати незначні зміни зовнішніх умов: рН, іонної сили, температури і природи розчинника. На визначення оптимальних режимів іммобілізації, що забезпечать високу каталітичну активність препарату та стабільність й спрямовують сучасні дослідження та розробки.

Так, проведені систематичні дослідження по розробці високостабільного гетерогенного біокаталізатору для процесу неперервного гідролізу крохмалю на основі адсорбованої глюкоамілази. Іммобілізована глюкоамілаза зберігає високу біокаталітичну активність через 1-1,5 років зберігання при кімнатній температурі [10].

Інтерес представляє вивчення іммобілізації пектаваморину з метою отримання дешевого і стабільного біологічного каталізатору. Іммобілізацію пектаваморину Г10Х проводили включенням 30 см^3 7%-го водного розчину ферментного препарату в поліакриламідний гель. Для покращення зв'язування ферменту в полімеризаційну суміш вводили глутаровий альдегід в якості модифікатора. Відмічено збільшення пектинестеразної активності при зберіганні ферменту, який іммобілізований в поліакриламідний гель [11].

Аналіз опрацьованої літератури дозволяє визначити, що перспективи використання адсорбційних методів для виділення ферментних препаратів, у порівнянні з іншими методами, зумовлені можливістю обробки великих об'ємів розчинів при відносно простому апаратному оформленні та скорочених термінах, зниженням енергосемності процесу та втрат активності при концентруванні ферментів, можливістю одночасно з концентруванням здійснювати очищення від баластних домішок. Очевидно, що у багатьох випадках

адсорбційні процеси можуть розглядатися як ефективні та економічні методи отримання іммобілізованого продукту в технології ферментних препаратів.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення впливу умов іммобілізації гідролітичного ферментного комплексу мікробного походження адсорбційним способом на активність ферменту.

Задачею дослідження є встановлення режимів іммобілізації гідролітичного ферментного комплексу адсорбційним способом на аеросилі в процесі біотехнологічного виробництва.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідження можливості адсорбції гідролітичного ферментного комплексу з культурального фугату після біосинтезу продукту.

2. Визначення оптимальних значень досліджуваних параметрів (температури, концентрації носія (аеросилу марки А-300) та тривалості іммобілізації) для отримання іммобілізованого препарату.

Матеріали та методи дослідження параметрів іммобілізації гідролітичного ферментного комплексу адсорбційним методом. В роботі використовували ферментний комплекс та готовий препарат, що синтезується мікробним штамом-продуцентом *Streptomyces albus* ІМВ Ас-5030 та містить глікозидази, мурамідази, протеїнази, протеази та інші ензими [12].

Біосинтез ГФК проводили у колбах на 750 см^3 на качалках при частоті обертання 240 хв^{-1} , протягом 72-96 годин при температурі $28 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ на середовищі наступного складу, (г/дм³): глюкоза - 6,0; соєве борошно дезодороване - 8,0; NaCl - 14,0; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ - 2,0; CaCl_2 - 4,5; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ - 5,8; $\text{MnCl}_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ - 0,04. рН 7,8-8,2.

Для визначення літичної активності ферментних препаратів були використані мікробні тест-культури *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* як моделі грам-позитивних та грамнегативних патогенів та *Lactobacillus bulgaricus* 86 – як культуру, що є перспективним джерелом отримання біологічно активних препаратів (структур клітинної стінки, певних органел тощо).

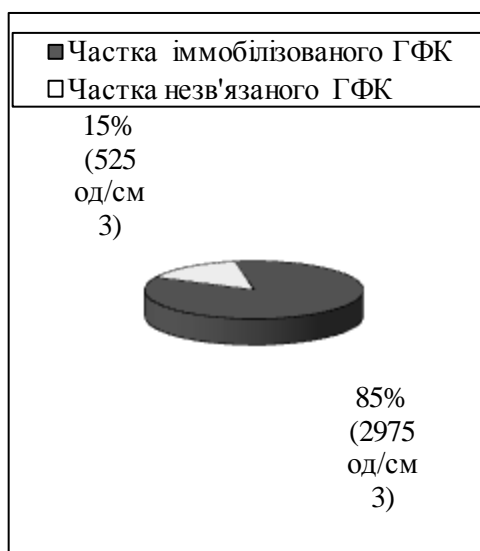
Літичну активність (ЛА) ферментного препарату визначали за здатністю до лізису суспензії тест-культур та виражали у од/мл. За одиницю ЛА приймали кількість ферменту, яка знижує густину суспензії тест-культури на 0,001 оптичної одиниці за 1хв. Визначення проводили турбідиметричним методом [12] у наступній модифікації: до 4 мл суспензії тест-культури (оптичною густиною 0,7-0,8 ОД при $\lambda = 540 \text{ нм}$) додавали 0,1-0,3 мл розчину ферменту та інкубували впродовж 10 хв. при $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

У якості носія для іммобілізації використовували аеросил марки „Силікс” А-300. Іммобілізацію проводили адсорбційним способом, вносячи носій у робочий розчин ферментного препарату (40 мг/мл) до концентрації рідкого гелю (5-7 %) та перемішуючи на магнітній мішалці протягом 30 хв. [13]. Іммобілізацію проводили у водному розчині ферменту, а також у культуральному фугаті після процесу біосинтезу. Утворений гель центрифугували протягом 20 хвилин при 5000 хв^{-1} і видаляли надосадову рідину. Осад іммобілізованого препарату висушували у термостаті протя-

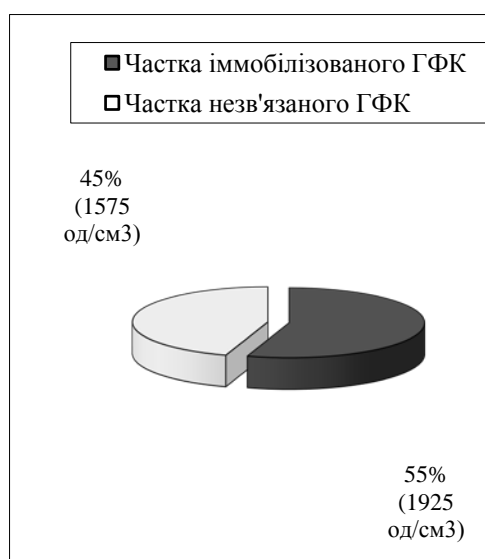
гом 1-2 годин при температурі 30 С. Активність препарату аналізували за наведеними вище методиками визначення ЛА.

Результати дослідження параметрів іммобілізації гідролітичного ферментного комплексу адсорбційним методом. До основних параметрів процесу іммобілізації ферментів, що визначають її ефективність, відносять рН, температуру, концентрацію носія та тривалість контакту [3 - 5]. Однак, при проведенні іммобілізації в ході біотехнологічного виробництва іммобілізованого препарату та використанні, відповідно, фугату культуральної рідини, доцільність корегування рН є сумнівним, зважаючи на багатокомпонентність фугату та рівень підвищення ефективності процесу у розчині препарату.

Для з'ясування останнього питання, було проведено порівняльну іммобілізацію ферментного комплексу з розчину готового ГФП та культурального фугату, отриманого в процесі біосинтезу ГФК (рис. 1).



а



б

Рис. 1 – Порівняння ефективності іммобілізації ГФК з використанням: а - фугату культуральної рідини продуценту; б - розчину готового ферментного препарату

Отримані дані вказують на значну різницю ефективності процесу іммобілізації ферментного комплексу у вказаних варіантах. Так, вміст ферментного комплексу у надосадовій рідині, після відділення іммобілізованого препарату з фугату значно нижчий, ніж аналогічний показник при використанні розчину готового ферменту – 15 проти 45 %.

Подані результати свідчать про високу ефективність процесу іммобілізації ферментного комплексу з фугату культуральної рідини продуценту, що, очевидно, не потребує додаткового корегування рН.

Наведене дослідження проводили, використовуючи концентрацію аеросилу 3% при температурі 22±2°C впродовж 30 хв, тому наступним етапом було визначення оптимальної температури та концентрації аеросилу (носія) в процесі іммобілізації. Вказані параметри варіювали в діапазонах, що визначалися термолабільністю об'єкту іммобілізації та технологічністю процесу. Іммобілізацію проводили, використовуючи фугат КР, що містив досліджуваний ГФК, та контролювали процес за лактолітичною активністю.

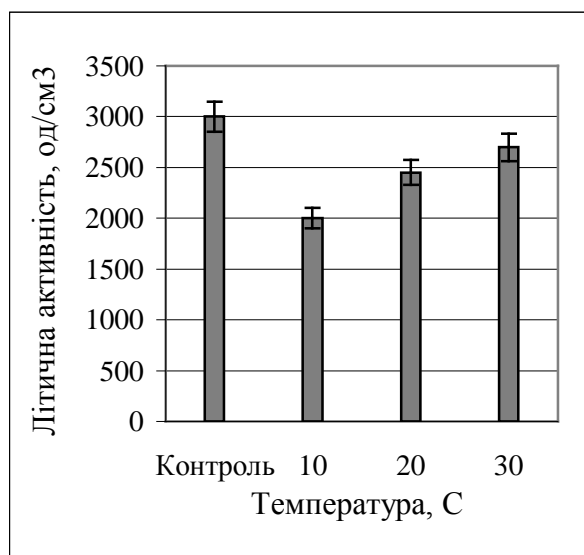
Експериментальні дані, представлені на рис. 2 (а), вказують на підвищення ефективності іммобілізації зі збільшенням температури.

Зважаючи на термолабільність білку та зв'язування ферменту при 30°C на рівні 90 %, очевидно використання більш високих температур є недоцільним, в тому числі з економічної точки зору. Тому, рекомендованою температурою для адсорбційної іммобілізації ГФК на аеросилі можна вважати 28-32 °С.

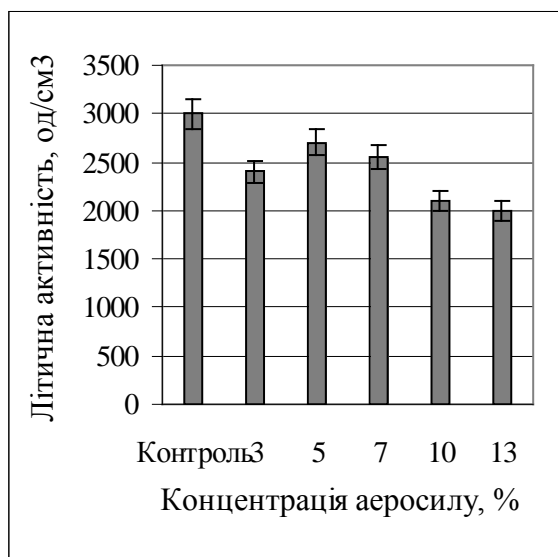
Діапазон досліджуваних концентрацій аеросилу в процесі іммобілізації був обумовлений фізичними характеристиками реакційної системи та, відповідно, технологічністю процесу. Так, при концентрації аеросилу 3 % реакційна система мала стан рідкого гелю, що надалі добре розділявся при центрифугуванні. Починаючи з концентрації носія 7% утворювався більш щільний гель, що практично не розділявся центрифугуванням.

Дані, наведені на рис. 2, вказують, що максимальне зв'язування ферменту відбувається при концентрації аеросилу 5-7 % та при підвищенні концентрації останнього ефективність іммобілізації знижується. Причому, зразки з вмістом аеросилу 10-13 % мали стан густого гелю та не розділялися центрифугуванням, а відразу висушувалися контактним способом. Тому, зниження літичної активності зразків препарату з максимальним вмістом носія може бути наслідком часткової інактивації ферменту впродовж більш тривалого висушування при 30-35 °С.

Отже, оптимальною концентрацією носія для іммобілізації ферментного комплексу при наступному контактному способі висушування є 5 %, що дозволяє досягти максимального рівня зв'язування ферменту (90 %) та дає можливість видалити рідину після центрифугування. При використанні іншого способу сушки можна використовувати концентрацію аеросилу 7-8 % без наступного відділення рідини – при цьому в препарат потрапить навіть не зв'язаний фермент, що може бути закріплений додатково в процесі сушки та виявляти свою активність при використанні препарату.



а



б

Рис. 2 – Вплив технологічних параметрів на ефективність процесу іммобілізації ГФК: а - температури; б – концентрації аеросилу

Оптимальну тривалість процесу іммобілізації визначали в інтервалі часу 15-90 хв, що вказаний як ефективний для аналогічних розробок [5, 7]. Очевидно, що впродовж 30-45 хв. відбувається максимальна адсорбція ферментного комплексу на аеросилі, а отже не доцільно подовжувати її час понад 45 хв., про що свідчить однаковий рівень активності зразків (2800 од/см³), отриманих при іммобілізації ферменту впродовж 45-75 хв. (рис. 3). Подальше збільшення часу взаємодії призводить до втрат ферменту, очевидно, внаслідок його термолабільності – інкубації досить тривалий час при 30 °С у водному середовищі.

Отже, узагальнюючи визначені технологічні режими процесу іммобілізації ферментного комплексу з культурального фугату, можна встановити, що такими є: температура 28-32 °С, концентрація аеросилу 5-7% (в залежності від способу сушки) при тривалості процесу 30-45 хв. Визначені параметри та особливості процесу можуть бути покладені в основу розробки способу іммобілізації та технічної документації

на виробництво іммобілізованого ГФП.

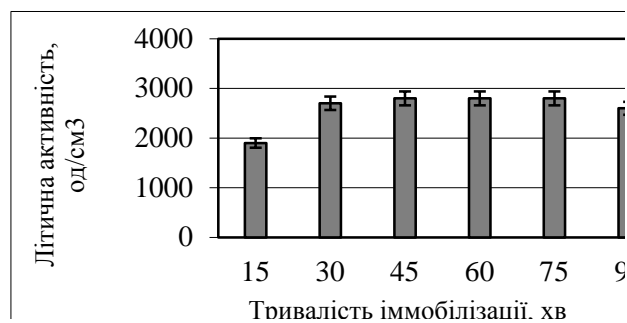


Рис. 3 – Вплив тривалості іммобілізації ГФК на ефективність процесу

Обговорення результатів дослідження параметрів іммобілізації гідролітичного ферментного комплексу адсорбційним методом. В представленому дослідженні проведено порівняння ефективності отримання іммобілізованого ГФП мікробного походження з фугату культуральної рідини, отриманого в процесі біотехнологічного виробництва, та з розчину готового ферментного препарату. Отримані дані свідчать, що при іммобілізації ферменту з фугату зв'язується 85 % продукту, а використання для цього готового ферменту у розчині призводить до його іммобілізації лише на рівні 55 %. Очевидно, сухий фермент містить речовини, що повністю не видаляються в процесі очистки (метаболіти та компоненти живлення) та потрапляють у розчин у підвищеній концентрації та пригнічують процес іммобілізації. Можливо, також, що саме ці речовини частково закріплюються на носії, перешкоджаючи іммобілізації окремих ферментів комплексу.

В культуральному фугаті також присутні залишки метаболітів та компонентів живлення, однак, очевидно, їх концентрація в цьому випадку є значно меншою. Можливим фактором пригнічення процесу у випадку використання розчину готового ферменту є присутність стабілізатора (Na₂SO₄), що додається в препарат, а саме, вірогідно, іонів натрію.

Показаний вплив концентрації аеросилу на технологічні процеси подальшої обробки напівпродукту, а саме відділення, концентрування та сушки, дозволяє отримувати різні готові форми продукту. Так, подальше після іммобілізації висушування концентрованої суміші контактним способом без попереднього центрифугування дає змогу одержати гранульований препарат технічного призначення. Такий іммобілізований гідролітичний ферментний препарат може бути використаний у складі порошкоподібних синтетичних миючих засобів або для знешкодження/зnezараження побутових відходів.

У разі ж ліофільного висушування суміші іммобілізованого препарату, що попередньо може бути простерилізований та сконцентрований баромембранними методами, може бути отриманий препарат для ветеринарії або (після проведення відповідних досліджень) для лікувальної практики.

Висновки

1. Встановлені оптимальні параметри процесу

імобілізації гідролітичного ферментного комплексу адсорбційним способом на аеросилі марки А-300: температура 28-32 °С, концентрація носія 5-7 %, тривалість процесу 30-45 хв.

2. Показані переваги отримання іммобілізованого гідролітичного ферментного препарату безпосередньо в процесі біотехнологічного виробництва, що визначає можливість поєднання процесів виділення ферменту та створення відповідної готової форми продукту.

Список літератури: 1. Kumar, J. P. Production of industrially important enzymes by some actinomycetes producing antifungal components [Text] / J. P. Kumar, J. Richa, P. C. Jain // Hindustan Antibiot. Bull. – 2003–2004. – Vol. 45–46. – P. 29–33. 2. Salazar, O. Enzymatic lysis of microbial cells [Text] / O. Salazar, J. Asenjo // Biotechnology letters. – 2007. – Vol. 29, No 7. – P. 985–994. 3. Chang, M-Y. Activities, stabilities and reaction kinetics of three free and chitosan-clay composite immobilized enzyme [Text] / M-Y. Chang, R-S. Juang // Enz. Microbial Technology. – 2004. – Vol. 35. – P. 437–443. 4. Jose, M. Immobilization of enzymes and cells [Text] / M. Jose // Second edition. Humana Press. – 2006. – P. 128. 5. Jose, M. Improvement of enzyme activity, selectivity and stability via immobilization techniques [Text] / M. Jose // Enzyme and Microbial Technology. – 2007. – Vol. 40, No 6. – P. 1451–1463. 6. Lageiro, M. Microbial proteases application in leather industry [Text] / M. Lageiro, M. Moura, A. Reis [et al.] // Journ. of Biotechnology. – 2007. – Vol. 131, No 2. – P. 239–240. 7. Колесник, Л. А. Иммобилизация α -амилазы. Свойства иммобилизованного фермента [Текст] / Л. А. Колесник // Прикладная микробиология. – 1995. – No 2. – С. 20–25. 8. Berlin, A. Evaluation of cellulase preparations for hydrolysis of hardwood substrates [Text] / A. Berlin, N. Gilkes, D. Kilburn [et al.] // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2006. – Vol. 129–132. – P. 528–545. 9. Маркович, Н. А. Литические ферменты Trichoderma и их роль при защите растений от грибных болезней [Текст] / Н. А. Маркович, Г. Л. Кононова // Прикладная биохимия и микробиология. – 2003. – Т. 39, No 3. – С. 389–400. 10. Коваленко, Г. А. Углеродсодержащие макроструктурированные керамические носители для адсорбционной иммобилизации ферментов и микроорганизмов. II. Биокаталитические свойства адсорбированной глюкоамилазы [Текст] / Г. А. Коваленко, О. В. Комова, А. В. Симаков [и др.] // Биотехнология. – 2002. – No 5. – С. 81–93. 11. Lingui, C. Immobilized enzymes: science or art? [Text] / C. Lingui // Chemical Biology. – 2005. – Vol. 9, No2. – P. 217–226. 12. Тодосійчук, Т. С. Аналіз специфічності готових форм антимікробних препаратів з Streptomyces albus [Текст] / Т. С. Тодосійчук, О. В. Покас // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – No 4/6 (76). – С. 58–61. 13. Тодосійчук, Т. С. Дослідження ефективності іммобілізації ферментного препарату циторецифен адсорбційним методом [Текст] / Т. С. Тодосійчук, М. А. Григор'єва, Н. В. Москаленко // Український журнал медичної техніки і технології. – 2007. – No 1. – С. 17–25.

Bibliography (transliterated): 1. Kumar, J. P., Richa, J., Jain, P. C. (2003–2004). Production of industrially important enzymes by some actinomycetes producing antifungal components. Hindustan Antibiot. Bull., Vol. 45–46, 29–33. 2. Salazar, O., Asenjo, J. (2007). Enzymatic lysis of microbial cells. Biotechnology letters, Vol. 29, No 7, 985–994. 3. Chang, M-Y., Juang, R-S. (2004). Activities, stabilities and reaction kinetics of three free and chitosan-clay composite immobilized enzyme. Enz. Microbial Technology, Vol. 35, 437–443. 4. Jose, M. (2006). Immobilization of enzymes and cells. Second edition. Humana Press, 128. 5. Jose, M. (2007). Improvement of enzyme activity, selectivity and stability via immobilization techniques. Enzyme and Microbial Technology, Vol. 40, No 6, 1451–1463. 6. Lageiro, M., Moura, M., Reis, A. [et al.] (2007). Microbial proteases application in leather industry. Journ. of Biotechnology, Vol. 131, No 2, 239–240. 7. Kolesnik, L. A. (1995). Immobilizaciya α -amilazy. Svoystva immobilizovannogo fermenta. Prikladnaya mikrobiologiya, No 2, 20–25. 8. Berlin, A., Gilkes, N., Kilburn, D. [et al.] (2006). Evaluation of cellulase preparations for hydrolysis of hardwood substrates. Appl. Biochem. Biotechnol., Vol. 129–132, 528–545. 9. Markovich, N. A., Kononova, G. L. (2003). Liticheskie fermenty Trichoderma i ix rol pri zashhite rastenij ot gribnyx boleznej. Prikladnaya bioximiya i mikrobiologiya, T. 39, No 3, 389–400. 10. Kovalenko, G. A., Komova, O. V., Simakov, A. V. [i dr.] (2002). Uglerodsoderzhashhie makrostrukturirovannye keramicheskie nositeli dlya adsorbcionnoj immobilizacii fermentov i mikroorganizmov. II. Biokataliticheskie svoystva adsorbirovannoj glyukoamilazy. Biotexnologiya, No 5, 81–93. 11. Lingui, C. (2005). Immobilized enzymes: science or art? Chemical Biology, Vol. 9, No2, 217–226. 12. Todosijchuk, T. S., Pokas, O. V. (2015). Analiz specifichnosti gotovix form antimikrobnix preparativ z Streptomyces albus. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, No 4/6 (76), 58–61. 13. Todosijchuk, T. S., Grigoreva, M. A., Moskalenko, N. V. (2007). Doslidzhennya efektyvnosti immobilizacii fermentnogo preparatu citorecifen adsorbicijnim metodom. Ukraïns'kij zhurnal medichnoï tekhniki i tehnologii, No 1, 17–25.

Поступила (received) 10.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Тодосійчук Тетяна Сергіївна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «КПІ», доцент кафедри промислової біотехнології; адреса: просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056;

Тодосійчук Татяна Сергеевна – кандидат технічних наук, Национальный технический университет Украины «КПИ», доцент кафедры промышленной биотехнологии; адрес: ул. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056;

Todosijchuk Tetiana – PhD, National Technical University of Ukraine "KPI", Associate Professor, Department of Industrial Biotechnology Address: Str. Victory, 37, Kiev, Ukraine, 03056;

Дуган Олексій Мартем'янович – доктор біологічних наук, Національний технічний університет України «КПІ», декан Факультету біотехнології і біотехніки; адреса: просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056;

Дуган Алексей Мартемьянович – доктор биологических наук, Национальный технический университет Украины «КПИ», декан факультета биотехнологии и биотехники; адрес: ул. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; тел. (044) 204-83-12; e-mail: biotech@fbt.ntu-kpi.kiev.ua.

Dugan Aleksey – Doctor of Biological Sciences, National Technical University of Ukraine "KPI", Dean of the Faculty of Biotechnology and Bioengineering; Address: ul. Victory, 37, Kiev, Ukraine, 03056;

УДК 629.17

Л. А. МУРАДЯН

ВІДМОВИ ТА БЕЗВІДМОВНІСТЬ ВАГОНІВ ЯК СКЛАДОВІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ

На основі проведеного аналізу відмов вагонів і, зокрема, показника надійності – безвідмовності, сформульовано гіпотезу про існування центру ваги, який є визначальним для оцінки експлуатаційної надійності вагона. Такий центр ваги, у роботі найменовано коефіцієнтом експлуатаційної надійності вагона, який характеризує небезпеки подальшої експлуатації вагонів на залізниці. На основі таких коефіцієнтів можна прогнозувати і констатувати значні економічні втрати, екологічні наслідки або загрозу людському життю. Крім того, в роботі, розроблена і приведена методика визначення коефіцієнта експлуатаційної надійності вагонів, використовуючи яку, можна врахувати застосування нових конструкцій та новітніх матеріалів.

Ключові слова: коефіцієнт експлуатаційної надійності вагонів, відмови, ймовірність безвідмовної роботи, залізничний транспорт.

Вступ. Основним завданням залізничного транспорту є перевізний процес, обов'язковою умовою якого є безпека руху поїздів. На забезпечення підвищення рівня безпеки руху поїздів впливають надійність і безвідмовність рухомого складу, ліній електропередач та зв'язку, пристроїв блокування, стан і профіль колії [1].

На перших позиціях серед відмов залізничного транспорту знаходиться вантажний рухомий склад, а особливо піввагони [2]. Це пов'язано з тим, що кількість рухомого складу для вантажних перевезень є найбільшою, оскільки вантажні перевезення є основною дохідною діяльністю залізниць у всьому світі [3].

У теорії надійності співіснують два напрями, споріднені за ідеологією та загальною системою понять, але відрізняються за підходами [4, 5].

Перший напрямок – системна, статистична або математична теорія надійності, другий – можна назвати фізичною теорією надійності. Об'єктом системної (статистичної, математичної) теорії надійності служать системи з елементів, взаємодіючих між собою в сенсі збереження працездатності по логічним схемам: графам, деревам відмов тощо.

Вихідну інформацію в системній теорії надійності, як правило, утворюють показники надійності елементів, що визначаються шляхом статистичної обробки результатів випробувань і (або) експлуатаційних даних. Завдання системної теорії надійності вирішують в рамках теорії ймовірностей і математичної статистики, тобто без залучення фізичних моделей відмов і тих фізичних явищ, які викликають і супроводжують виникнення відмов.

Витоки фізичної теорії надійності можна знайти в ранніх роботах по статистичному тлумаченню коефіцієнтів запасу при розрахунку інженерних конструкцій. Відмінна риса фізичної теорії надійності полягає в тому, що підтримання працездатності системи і можливості виникнення відмов розглядають в ній як результат взаємодії між системою і зовнішніми впливами (експлуатаційними навантаженнями, умовами середовища тощо), а також механічними, фізичними і хімічними процесами, які відбуваються в компонентах системи в процесі її експлуатації. Поряд із засобами теорії ймовірностей і математичної статистики у фізичній теорії надійності широко використовують моделі і методи природничих і технічних наук.

Першорядне значення надійності пов'язано з тим, що її рівень в значній мірі визначає розвиток автоматизації виробничих процесів, інтенсифікації робочих процесів, економії матеріалів і енергії.

Актуальність надійності зростає у зв'язку зі складністю сучасних машин і важливістю функцій,

які вони виконують [6, 7]. Сучасні технічні засоби складаються з безлічі взаємодіючих механізмів, апаратів і приладів. Відмова хоча б одного елемента складної системи призводить до порушення роботи всієї системи.

Проведемо аналіз відмов та безвідмовності вагонів як складових надійності.

Аналіз попередніх досліджень. Однією з проблем сучасної теорії надійності, заснованої на класичних імовірнісних методах, є неможливість адекватного точного передбачення моменту виникнення відмови як випадкової події [8]. Оскільки, моменту відмови об'єкта (особливо тривалого використання), зазвичай, передують складні внутрішні зміни. Ці зміни, в вантажних вагонах, можуть по-різному проявлятися в залежності від місця та характеру відмови [9].

Існуючий понятійний апарат теорії надійності регламентований за допомогою досить великої кількості нормативно-технічних документів: ГОСТ [10], ДСТУ [11]. Відповідно до цих документів, надійність включає: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність. Розглянемо безвідмовність, яка, на думку авторів, є прямим і найбільш важливим показником надійності. У ДСТУ [11] вказано, що безвідмовність – це властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку.

Безвідмовність вагонів є особливо важливою, оскільки від неї залежать життя людей. Також, першорядне значення, безвідмовність вагонів відіграє на залізниці, оскільки відмова вагонів викликає перерву в роботі залізничної лінії, станції тощо.

З визначення безвідмовності випливає, що її обчислюють часом або напрацюванням до моменту виникнення відмови, встановлення причин відмов, винуватців їх виникнення та розробки заходів щодо зниження ймовірності їх виникнення. При цьому основою класифікації відмов є характер виникнення та особливості протікання процесів, що призводять до відмови (рис. 1).

Відмови ділять за: причиною виникнення, характером прояву, взаємозв'язку та зносу, трактуванням відмов і можливими наслідками. Крім того, відмови бувають ресурсні та деградаційні.

Відповідно [10, 11], відмова – це подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта. Також подано примітку про те, що несправність є станом та причиною відмови.

© Л. А. Мурадян. 2015



Рис. 1 – Класифікація відмов

Вивчення відмов на різних стадіях існування вагона з погляду теорії надійності можна подати у наступному вигляді (рис. 2).

мовності вагонів як складових експлуатаційної надійності з розробкою методики визначення коефіцієнту експлуатаційної надійності вагонів для оцінки можливості їх подальшої експлуатації.

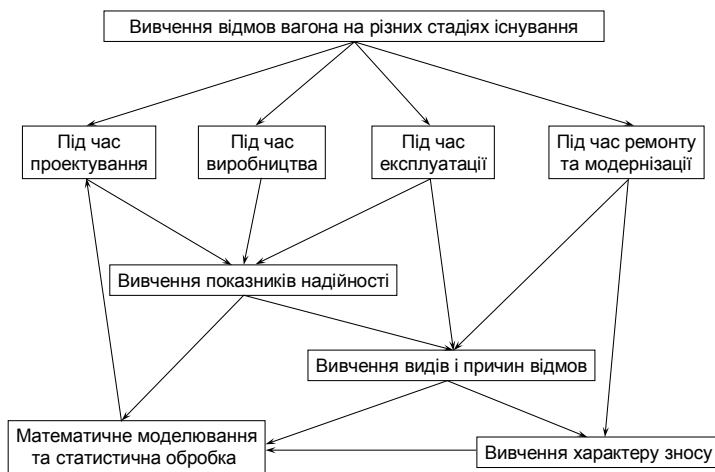


Рис. 2 – Вивчення відмов на різних етапах існування вагона з погляду теорії надійності

При збільшенні числа елементів, що входять до вагона (наприклад, пасажирського), при постійній надійності, кожного з них, знижується надійність всього вагона.

Слід відмітити, що безвідмовність характеризується [10, 11]: ймовірністю безвідмовної роботи, інтенсивністю відмов, параметром потоку відмов, середніми напрацюваннями до та на відмову, гамма-відсотковим напрацюванням на відмову.

Оскільки ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ і відмова є взаємно протилежні події, то оцінку ймовірності відмови визначають за залежністю [4, 5]:

$$F(t) = 1 - P(t). \tag{1}$$

При цьому, для функції $F(t)$ справедливі такі відношення:

$$0 \leq F(t) \leq 1; F(0) = 0; F(\infty) = 1. \tag{2}$$

Метою роботи є дослідження відмов та безвід-

Результати досліджень відмов та безвідмовності вагонів.

Існує ряд випадків, коли є в наявності інформація про відмови вагонів, які мають різний характер. Розглянемо випадки відмов вагонів з механічним, корозійним та втомлюваним зносом. При цьому покладемо, що відомі розподіли функцій ймовірності відмов вагонів $F(t)$ за вказаними видами зносу. Так, для випадку відмов вагонів за механічним зносом, щільність розподілу підкоряється експоненціальному розподіленню [12]:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad t \geq 0, \tag{3}$$

де λ – інтенсивність відмов.

Для випадку відмов вагонів за корозійним зносом, щільність розподілу розподілена за нормальним законом [8]:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right), \tag{4}$$

де a і σ^2 – математичне очікування і дисперсія досліджуємої випадкової величини.

У випадку дослідження відмов вагонів за втомлюваним зносом, щільність розподілу розподілена за законом Вейбулла-Гнеденка [12]:

$$f(t) = \lambda a t^{a-1} \cdot \exp(-\lambda t^a), \tag{5}$$

де λ, a – параметри закону розподілу.

Приведемо на рис. 3 графічні залежності ймовірності відмов та відповідно до виразу (1) ймовірності безвідмовної роботи вагонів $P(t)$ для відповідних видів зносу. При цьому, розподіл функцій покажемо на часовій абсцисі, оскільки для подальших міркувань повинні бути однакові величини вимірювання.

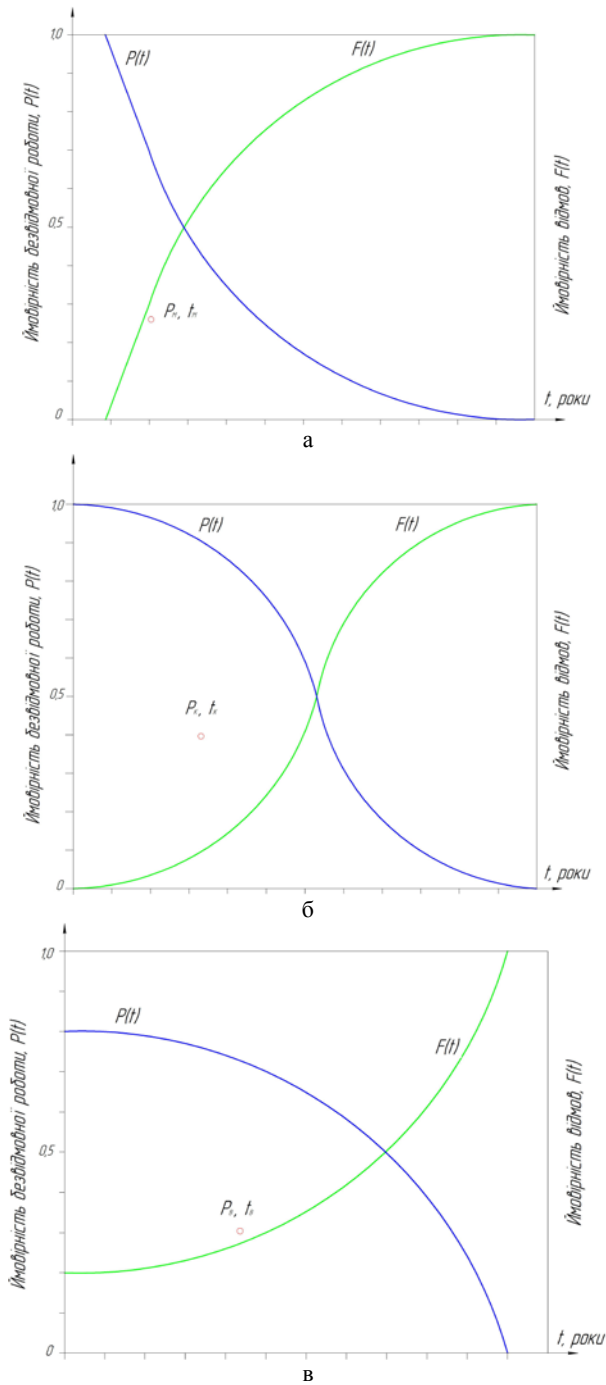


Рис. 3 – Залежності ймовірності відмов та ймовірності безвідмовної роботи вагонів: а – механічний знос; б – корозія; в – втомлюваний знос

Якщо придивитися до наведених залежностей, то центр ваги площі, що обмежена лінією ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ буде мати значення, за віссю ординат, – нижче за 0,5. Тобто, положимо, що центр ваги зазначеної площі буде визначальним для оцінки експлуатаційної надійності вагона та можливості його подальшої експлуатації, а також вказуватиме на необхідність проведення інших заходів, наприклад, направлення вагону до підприємств з відновлення ресурсу за зазначеними видами.

Дамо назву точкам $P_m, t_m; P_k, t_k; P_v, t_v$ – вагові коефіцієнти експлуатаційної надійності (коефіцієнти небезпек для експлуатації), що вказують на небезпеку подальшої експлуатації вагонів на залізниці. Такими

коефіцієнтами можна прогнозувати і констатувати значні економічні втрати, екологічні наслідки або загрозу людському життю.

Далі, застосуємо метод центра ваги і знайдемо значення напрацювання для загального коефіцієнту експлуатаційної надійності вагонів $K_{ен}^t$ (тобто абсцису $t_{КЕН}$) за формулою:

$$K_{ен}^t = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{P_m \cdot t_m + P_k \cdot t_k + P_v \cdot t_v}{P_m + P_k + P_v}, \quad (6)$$

а значення $K_{ен}^P$, тобто ординату $P_{КЕН}$ за аналогічною формулою:

$$K_{ен}^P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{P_m \cdot t_m + P_k \cdot t_k + P_v \cdot t_v}{t_m + t_k + t_v}, \quad (7)$$

Значення зазначеного коефіцієнту ($P_{КЕН}, t_{КЕН}$) наведемо графічно у вигляді граничних вертикальної та горизонтальної ліній (рис. 4).

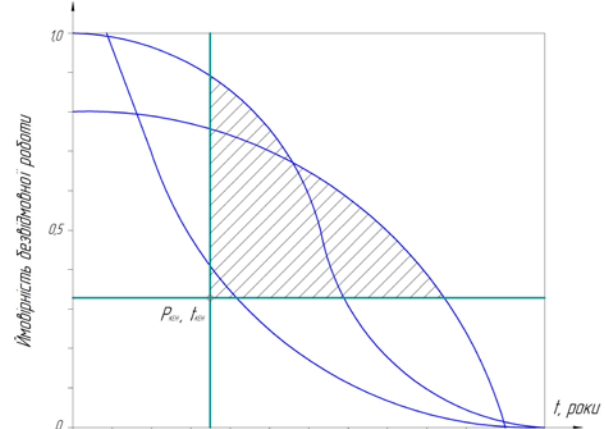


Рис. 4 – Значення коефіцієнту експлуатаційної надійності вагонів

Заштрихована площа на рис. 4, вказує початок того моменту, коли необхідно починати планувати заходи щодо підвищення надійності вагонів. Це є особливою зоною з можливих станів існування вагонів, в якій їх експлуатаційна надійність повинна знаходитись на ретельній увазі власників та робітників залізниці, особливо, вагонного господарства.

Перетин горизонтальної лінії з ординатою $P_{КЕН}$ з кривими ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ з відповідними видами зносу дає точки, які слід назвати кризовими, тобто при величині такого напрацювання вагона, експлуатаційна надійність виходить за критичну межу.

Також, слід зазначити, що приведена методика визначення коефіцієнта експлуатаційної надійності вагонів дозволяє врахувати застосування нових конструкцій та матеріалів (наприклад, колісних пар чи кузову). Тобто знаючи у скільки разів, наприклад, інтенсивність зносу гребенів колісних пар менше за існуючі аналоги, можна побудувати такий розподіл (рис. 3,

а), але з врахуванням зниження ймовірності відмов вагонів. Далі, використовуючи вирази (6) та (7), визначити значення нового коефіцієнту експлуатаційної надійності, який прийме більші значення, як за ординатою, так і за абсцисою в порівнянні за попередні.

Висновки. Проведений аналіз відмов вагонів і, зокрема, показника надійності – безвідмовності, дав можливість сформулювати гіпотезу про існування центру ваги, який є визначальним для оцінки експлуатаційної надійності вагона. Такий центр ваги – найменовано коефіцієнтом експлуатаційної надійності вагона, який вказує на небезпеку подальшої експлуатації вагонів на залізниці. Такими коефіцієнтами можна прогнозувати і констатувати значні економічні втрати, екологічні наслідки або загрозу людському життю.

Також, в роботі, приведена методика визначення коефіцієнта експлуатаційної надійності вагонів, яка дозволяє врахувати застосування нових конструкцій та новітніх матеріалів.

Список літератури: 1. Губачева, Л. А. Надійність транспортних засобів: навч. посіб. [Текст] / Л. А. Губачева. – Луганськ: СЛУ ім. В. Даля, 2009. – 93 с. 2. Myamlin, S. V. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing [Текст] / S. V. Myamlin, D. M. Baranovskiy // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету ім. ак. В. Лазаряна "Проблеми економіки транспорту". – 2014. No 7. – С. 61–66. 3. Гапанович, В. А. Парк грузовых вагонов: перспективы развития [Текст] / В. А. Гапанович // Вагоны и вагон. хоз-во. – 2004. – Пилотный вып. – С. 2–5. 4. Устич, П. А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава [Текст] / П. А. Устич, В. А. Карпычев, М. Н. Овечников. – М., 1999. – 412 с. 5. Сирина, Н. Ф. Надежность технических систем. Вагоны [Текст] / Н. Ф. Сирина. – Екатеринбург, 2003. – 44 с. 6. Мямлин, С. В. Розробка конструкцій та машинобудівних технологій створення вантажних вагонів нового покоління [Текст] / С. В. Мямлин // Вагонний парк. – 2014. – No10. – С. 4–9. 7. Мурадян, Л. А. Определение количества объектов для проведения эксплуатационных испытаний вагонной техники

[Текст] / Л. А. Мурадян // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2013. – Вип. 139. – С. 83–86. 8. Надійність техніки. Аналіз надійності [Текст]: Основні положення. ДСТУ 2861-94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с. 9. Мурадян, Л. А. Исследование эксплуатационных свойств накладок для дисковых тормозов пассажирских вагонов производства ПАО "Трибо" [Текст] / Л. А. Мурадян, А. М. Бабаев, А. В. Сорочалет // Залізничний транспорт України. – No 3/4. – 2013. – С. 66–68. 10. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]: Утв.: Постановление Госстандарта СССР 15.11.89 N 3375. ГОСТ 27.002-89. – М.: Транспорт, 1990. – 32 с. 11. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст]: ДСТУ 2860-94. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с. 12. Бочаров, П. П. Теория вероятностей. Математическая статистика [Текст] / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 296 с.

Bibliography (transliterated): 1. Gubacheva, L. A. (2009). *Nadijnist transportnih zasobiv : navch. posib.* Lugansk: SNU im. V. Dallya, 93. 2. Myamlin, S. V., Baranovskiy, D. M. (2014). The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing. *Zbirk naukovih prac Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu im. ak. V. Lazaryana "Problemi ekonomiki transportu"*, No 7, 61–66. 3. Gapanovich, V. A. (2004). *Park gruzovyx vagonov: perspektivy razvitiya.* Vagoni i vagon. xoz-vo, 2–5. 4. Ustich, P. A., Karpychev, V. A., Ovechnikov, M. N. (1999). *Nadezhnost relsovogo netyagovogo podvizhnogo sostava.* Moscow, 412. 5. Sirina, N. F. (2003). *Nadezhnost texnicheskix sistem. Vagony.* Ekaterinburg, 44. 6. Myamlin, S. V. (2014). *Rozrobka konstrukcij ta mashinobudivnix tehnologij stvorennja vantazhnyx vagoniv novogo pokolinnya.* Vagonnij park, No10, 4–9. 7. Muradyan, L. A. (2013). *Opređenje kolichestva obektov dlya provedeniya ekspluatacionnyx ispytanij vagonnoj texniki.* Zbirk naukovih prac Ukraïnskoï derzhavnoï akademii zaliznizhnogo transportu, Vip. 139, 83–86. 8. *DSTU 2861-94.* (1995). *Nadijnist texniki. Analiz nadijnosti. Osnovni polozhennja.* Kiev: Derzhstandart Ukraïni, 92. 9. *Muradyan, L. A., Babaev, A. M., Sorochalet, A. V. (2013). Issledovanie ekspluatacionnyx svoystv nakladok dlya diskovyx tormozov passazhirskix vagonov proizvodstva PAO "Tribo".* Zaliznizhnij transport Ukraïni, No 3/4, 66–68. 10. *GOST 27.002-89.* (1990). *Nadezhnost v texnike. Osnovnye ponyatiya. Termini i opredeleniya.* Utv.: Postanovlenie Gosstandarta SSSR 15.11.89 N 3375. Moscow: Transport, 32. 11. *DSTU 2860-94.* (1995). *Nadijnist texniki. Termini ta viznachennja.* Kiev: Derzhstandart Ukraïni, 92. 12. *Bocharov, P. P., Pechinkin, A. V. (2005). Teoriya veroyatnostej. Matematicheskaya statistika.* Moscow: FIZMATLIT, 296.

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мурадян Леонтий Абрамович – кандидат технічних наук, Кафедра "Вагоны та вагонне господарство", Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010.

Мурадян Леонтий Абрамович – кандидат технічних наук, Кафедра "Вагоны та вагонне господарство", Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010.

Muradyan Leonti Abramovich – PhD, Department "cars and carriage facilities," Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan st. Lazaryan, 2., Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010.

УДК 629.5.065.5

О. С. САВЕЛЬЄВА

УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМОЮ НАВАНТАЖЕННЯ ЗІ СПАДКОВОЮ ТЕХНІЧНОЮ ТА ЕКОНОМІЧНОЮ ПАМ'ЯТТЮ

У роботі розглядаються питання, пов'язані з процесами управління проектом та програмою навантаження транспортним засобом. До особливості таких проектів можна віднести наявність однотипності операцій, і як наслідку – часткової втрати проектної діяльності при переході між серійними проектами, а також прояв при цьому спадкових порушень плану програми. При управлінні програмою, що складається з послідовних проектів навантаження транспортних засобів у всіх функціональних областях поточного проекту залишається частково прихована інформація про попередні, відсутність обліку якої може призвести до небажаних наслідків під час транспортування вантажу.

Ключові слова: управління програмою та проектом, транспортування вантажу, спадкова технічна економічна пам'ять.

© О. С. Савельєва. 2015

Вступ. Жодний більш-менш складний виробничий або економічний процес не може бути проведений так, як було заплановано при його проектуванні. Втручання оточуючого середовища завжди робить цей процес якоюсь мірою креативним, тобто таким, що потребує при управлінні постійного аналізу ситуації та прийняття нестандартних рішень аби досягти його мети в прийнятні строки та за прийнятні кошти. Саме таке управління називається управлінням проектом або програмою і спирається не стільки на технологічні карти, скільки на загальні правила та інструкції, а також на досвід осіб, які складають менеджмент [1].

В цих умовах з'являється додаткова проблема врахування конкретних особливостей проектною діяльності, пошук деяких її властивостей, що дозволяють виділити можливості врахування останніх для підвищення якості проекту та його продукту. Зокрема, до таких властивостей можна віднести тісний зв'язок між окремими проектами, що складають програму, в тому випадку, коли ці окремі проекти однотипні, аж до повного співпадіння операційної частини при природному неспівпадінні ризиків оточуючого турбулентного середовища [2].

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Управління програмою, як відомо, передбачає послідовне або паралельне за часом управління окремими проектами, пов'язаними одним або декількома, але нерозривними зв'язками-чинниками, впливаючими на досягнення загальної мети та на якість загального продукту програми [3 – 5]. Сьогодні широке поширення одержали програми, які складаються із однотипних (серійних) проектів – серійні програми, коли місія та мета проектною діяльності від одного серійного проекту до іншого зберігаються, а засоби досягнення цієї мети можуть суттєво відрізнятися [1].

Остання обставина позначається на результатах проектною діяльності подвійно: з одного боку ризики, що матеріалізувалися при цьому, створюють проблеми менеджменту серійної програми, змушуючи його під час кожного нового проекту вирішувати нові завдання, не завжди легко вирішуються [4, 5], а з іншого, – постійне відновлення усіх компонентів проектною діяльності, навіть змушене, сприяє науково-технічному прогресу [6].

Парадокс полягає в тому, що іноді навіть негативні ризики, пов'язані із втратами коштів, матеріалів, документації, персоналу, обладнання, сприятливого оточення, тощо, виявляються, у підсумку, менш небезпечними, ніж повна їхня відсутність, яка призводить до поступової трансформації серійної проектною діяльності в операційну, технологічну [2]. І хоча повній трансформації такого типу перешкоджає закон С.Д. Бушуєва, який вводить до обов'язкової групи факторів, що враховуються, турбулентне оточення проекту, завжди різне для різних проектів, деяка частина «чистотою» проектною діяльності від одного серійного проекту до іншого втрачається [6, 7].

Розробляючи заходи з підтримки або протидії такій втрагі, дослідники говорять про ризики «взагалі», не виділяючи їх окремі різновиди [8]. В той же час, на тлі розробки систем підтримки прийняття проектних рішень при управлінні серійними програмами можна виділити ризики, що визначаються та підтри-

муються подіями, які відбулися на попередніх відносно до поточного проектах програми. Ці ризики та ризикові випадки, які практично реалізуються, наче передаються n -му проекту «в спадок» від 1-го ... $(n - 1)$ -го проектів. Це може бути зламано на попередньому проекті обладнання, втрачений за будь-якою причиною працівник, збанкрутувавший постачальник, зайві витрачені гроші, згаяний дарма час, тощо – своєрідна технічна та економічна пам'ять [9 – 11].

Для кожною предметної галузі управління проектами та програмами такі спадкові ризики можуть бути абсолютно різними за своєю суттю, але загальні підходи до взаємодії з ними – системи та стандарти управління якістю [12], фінансова діагностика та оцінка проектів [13] та інші безумовно єдині і потребують розробки методів, які враховують перелічені властивості серійних програм.

Об'єкт, мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесів управління програмами, які складаються з однотипних проектів за рахунок виявлення спадкових порушень плану програми від проекту до проекту у вигляді «пам'яті», яка зберігає події, що відбулися при виконанні попередніх проектів, та у вигляді «спадщини» передає їх наступним проектам.

Для досягнення цієї мети в роботі були поставлені такі завдання:

- визначити поняття «спадкова пам'ять» та виконати її класифікацію за функціональними областями проектів та програм і за змістом впливу цієї «пам'яті» на програму та її продукт;

- розробити системи підтримки поточних проектних рішень із врахуванням спадкової пам'яті (минулі проекти) та прогнозу (стан продукту поточного проекту).

«Спадкова пам'ять» та її класифікація. Якщо не усі однотипні проекти програми починаються одночасно, то можна побачити, що більш пізні проекти деяким чином спадково «пам'ятають» ситуації, які з'явилися при виконанні попередніх, більш ранніх проектів (рис. 1).

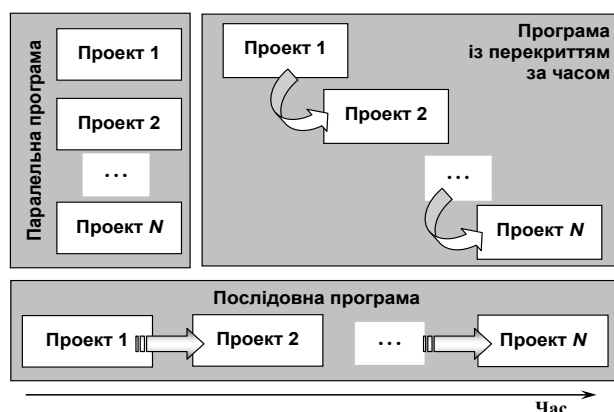


Рис. 1 – Схема виникнення та передачі «пам'яті» (фігурні стрілки) при різних варіантах початку проектів, що складають серійну програму

Під «спадковою пам'яттю» будемо розуміти відхилення від початкового плану програми, що складається з однотипних проектів, та усіх початкових установок на її виконання, які виникли на попередніх проектах та неминуче передаються «у спадщину» на на-

ступний проект.

Як і турбулентне оточення взагалі, «пам'ять» пронизує все проектне середовище, – усі функціональні області проекту (рис. 2). В табл. 1 наведені приклади впливів «пам'яті» із позитивним та негативним наслідками.

На відміну від непередбачуваних впливів турбулентного середовища, які відбуваються на протязі виконання всієї програми, впливи «пам'яті» локальні за часом: їх можна вважати такими, що відбуваються при переходах від проекту до проекту. Крім того, при відповідному інформаційному забезпеченні, впливи «пам'яті» можна відслідковувати, а отже, вчасно попередити їхні негативні наслідки.

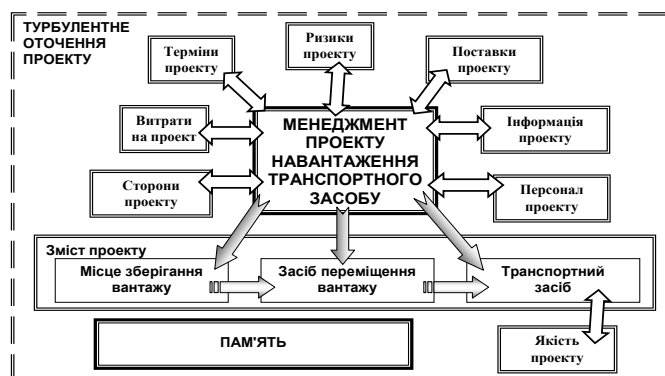


Рис. 2 – Структура системи підтримки прийняття рішень при управлінні проектом навантаження транспортного засобу «із пам'яттю»

Таблиця 1 – Приклади впливів «спадкової пам'яті» по функціональних областях із позитивним та негативним наслідками для програми, що складається з однотипних проектів

Функціональна область	«Позитивна» пам'ять	«Негативна» пам'ять
Зміст програми та її проектів	Паспорти, інструкції, положення, технології	Відхилення від паспортних властивостей: – вантажу; – транспортного засобу; – умов попереднього зберігання вантажу
Сторони програми	Стабілізація замовників, субпідрядників та споживачів продукції програми	Втрата довіри до замовників, субпідрядників та споживачів продукції програми
Витрати на програму	Стабілізація курсу валют	Негативна зміна початково запланованих курсу валюти та вартості основних витрат на проект при збереженні загальної вартості проекту
Терміни програми	Стабілізація термінів виконання окремих проектів з попередніх	Збільшення термінів попередніх проектів при збереженні загального терміну програми
Ризики програми	Ризикові події, які відбулися та призвели до відновлення матеріальної частини програми	Ризики, які відбулися та призвели до погіршення умов навантаження внаслідок пошкодження обладнання
Постачання програми	Стабілізація переліку постачальників та номенклатури поставок	Втрата довіри до постачальника на попередніх проектах, обмеження номенклатури поставок
Інформація при управлінні програмою	Вдосконалення методів та засобів отримання, перетворення, передачі та зберігання інформації	Обмеження доступу до інформації, пов'язані з руйнуванням мереж, втрата інформації, втрата програмного забезпечення
Персонал програми та її окремих проектів	Стабілізація персоналу, підвищення валіфікації та компетентності персоналу	Зміна персоналу з різних причин із загальним зниженням компетенції команди програми
Якість продукту програми	Відповідність стандартам, звуження допустимих границь параметрів якості	Вимушене розширення допустимих границь параметрів в бік зниження якості проекту

Методи використання позитивного та запобігання негативного впливів на програму та її продукт з боку «спадкової пам'яті». При плануванні програми приймаються планові проектні рішення, які розраховані таким чином, що вони повинні забезпечити потрапляння продукту проекту в деякий «коридор якості». Тому система підтримки прийняття рішень при управлінні програмою, яка складається з однотипних проектів, повинна мати додаткову можливість прогнозування стану продукту поточного проекту на майбутнє (рис. 3).

Отже виходить парадоксальна ситуація: найбільш важливі для здійснення поточного проекту рішення приймаються на підставі того, що було «до цього проекту» (пам'ять), та того, що буде після нього з його продуктом (прогноз).

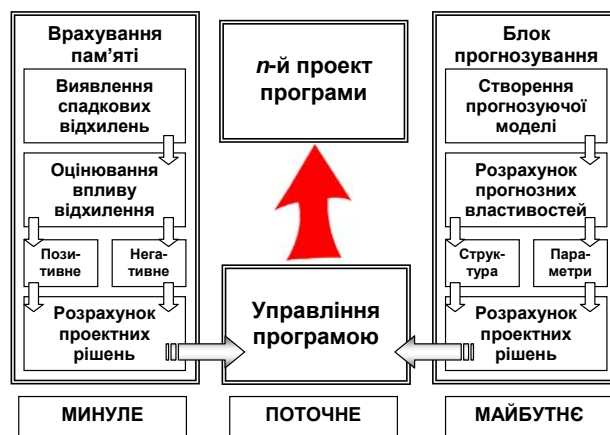


Рис. 3 – Схема системи підтримки поточних проектних рішень із врахуванням спадкової пам'яті (минулі проекти) та прогнозу (стан продукту поточного проекту)

Приклад «спадкової пам'яті», отримуваної функціональною областю «Зміст програми». Проблеми управління програмами експлуатації транспортних засобів найбільш підходять в якості прикладу оптимізації наслідків «спадкової пам'яті», оскільки вони, як правило, містять однотипні проекти [2, 7], а з іншого боку, – процес розміщення елементів вантажу на конкретному поточному транспортному засобі [14] суттєво залежить від подій, які відбулися при навантаженні усіх попередніх. Розглянемо приклад з області управління програмою навантаження послідовності транспортних засобів сухим сипучим піщаним матеріалом із пам'яттю, яка відноситься до функціональної області «Зміст програми», а саме до властивостей вантажу та транспортного засобу.

Як видно з рис. 4, від складу, де зберігається вантаж перед навантаженням, з попередніх проектів успадкована нерівномірність щільності піщаної маси, викликана, наприклад, дощовою водою, яка проникла на склад крізь проріху в даху та частково заповнила вологою пори в деякому об'ємі піску, а від транспортного засобу – успадкована з попередніх проектів різна жорсткість пружинних ресор k_1 та k_2 , викликана наприклад дорожньо-транспортною пригодною.

Це призводить, по-перше, до зміщення центру тяжіння (Ц.Т.) об'єму маси, а отже до перекосу кузова транспортного засобу, а, по-друге, – до різної реакції ресор на навантаження, у підсумку – перекосу кузова та, відповідно, до погіршення умов транспортування і підвищення ризику його перекидання.

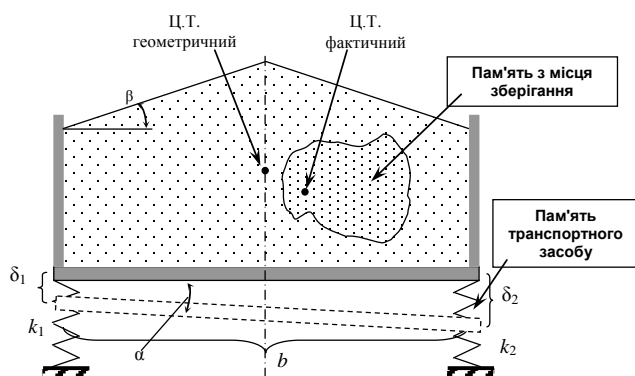


Рис. 4 – Схема розташування «спадкової пам'яті» від місця зберігання вантажу та в конструкції транспортного засобу

Перевезення сипучих вантажів на автомобілях і залізничних платформах має ту особливість, що до певного, граничного значення зовнішнього динамічного впливу $F_{пр}$ сипучий вантаж поводить себе як суцільне тверде тіло, а починаючи із цього значення починає здобувати реологічні властивості, типові для рідин [11, 14].

Після закінчення проекту навантаження рухомого транспорту (автомобільного, залізничного, морського, тощо) у системі «платформа – вантаж» зберігаються особливості, пов'язані з технологією навантаження, наприклад, розміщення дискретного вантажу, нерівномірності в щільності сипучого, кількість рідкого вантажу.

Завдяки «спадковій пам'яті» перебіг проекту навантаження впливає на продукт проекту: процес перевезення, причому, у деяких випадках досить суттєво.

Практичне використання результатів дослідження. Результати роботи використані при управлінні програмою навантаження напівпричепів марки ОДА3-93571 у Науково-дослідному інституті-полігоні мобільної техніки (ІНПОМТ, м. Одеса) та на підприємстві «Технічний центр Одеського автоскладального заводу». Випробування підтвердили позитивний вплив впровадження запропонованого методу, який виразився в розробленні нових нормативів для менеджменту проекту стосовно реагування на «спадкову пам'ять». Крім того, швидкість навантаження збільшена, у середньому на програму, в 1,15 рази; вартість навантаження знижена, у середньому на програму, в 1,11 рази, а кількість порушень якості вантажу під час навантаження, перевезення та розвантаження знизилася на 7,2 %.

Висновки

1. Визначення поняття «спадкова пам'ять» дало можливість виконати її класифікацію за функціональними областями проектів та програм і за змістом впливу цієї «пам'яті» на програму та її продукт. В результаті сформульована задача віднесення елементів «спадкової пам'яті» до відповідного класу та розробки заходів до обернення останньої на користь досягнення мети програми.

2. Розроблена система підтримки поточних проектних рішень базується на врахуванні спадкової пам'яті (минулі проекти), з одного боку, та прогнозі стану продукту поточного проекту, – з іншого.

3. На прикладі «спадкової пам'яті», яку отримують вантаж та транспортний засіб при управлінні програмою послідовного навантаження, показані постановка проблеми та дії менеджменту програми з реінжинірингу її етапів з метою підвищення якості продукту програми. Результати використані при управлінні програмою навантаження із позитивним техніко-економічним ефектом.

Список літератури: 1. *Stackpole, C. Snyder A Project Manager's Book of Forms, 2nd Edition: A Companion to the PMBOK® Guide, 5th Edition.* [Текст] / С. Stackpole // John Wiley & Sons and Project Management Institute, 2013. – 240 р. 2. *Колесникова, Е. В. Методы количественной оценки степени трансформации серийной проектной деятельности в операционную* / Е. В. Колесникова, И. И. Становская // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: зб. наук. праць. – Одеса: АО Бахва, 2013. – Вип. 4(5). – С. 32–40. 3. *Madden, J. One Hundred Rules for NASA Project Managers* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.oliverlehmann.com/project-management-sources/Nasa-Hundred-Rules-for-Project-Managers.pdf>. 4. *Atkinson, R. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria* [Текст] / R. Atkinson // International journal of project management. – 1999. – Vol. 17, Issue 6. – P. 337 – 342. 5. *Тарасюк, М. І. Управління проектами* [Текст] / М. І. Тарасюк. – Каравела, 2004. – 344 с. 6. *Armstrong, M. Strategic Reward: Making it happen* [Текст] / M. Armstrong, D. Brown. – Kogan Page, London, 2006. 7. *Бушуйев, С. Д. Развитие систем знаний и технологий управления проектами* [Текст] / С. Д. Бушуйев // Управление проектами и программами. – 2005. – No 2. 8. *Birnbaum, B. Strategic thinking: A four-piece puzzle* [Text] / B. Birnbaum // Costa Mesa, CA: Douglas Mountain Publishing, 2004 p. 9. *Ohashi, Y. Effects of complicated deformation history on inelastic deformation behaviour of metals* [Text] / Y. Ohashi // Memoirs of the Faculty of Engineering, Nagoa University. – 1992. – Vol. 34. – N 1. – P. 1–76. 10. *Матеріали с ефектом пам'яті форми* [Текст] / под ред. В. А. Лухачева. – СПб.: НИИХ СПбГУ, 1998. – Т. 3. – 474 с. 11. *Болдырева, Т. В. Методический подход к инициализации параметров продуктов проекта транспортного предприятия* [Текст] / Т. В. Болдырева, Т. А. Ковтун // Вісник Одеського національного морського університету: зб.

наук. праць. – 2007. – Вип. 22. – С. 166–180. **12.** A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Third Edition. An American National Standard ANSI/PMI 99-001-2004. – 388 p. **13.** Васина, А. А. Финансовая диагностика и оценка проектов [Текст] / А. А. Васина. – СПб: Питер, 2004. – 447 с. **14.** Савельева, О. С. Влияние технологии погрузки на динамику перемещения сыпучих грузов [Текст] / О. С. Савельева, Н. Н. Морзосъ / Моделирование в прикладных научных исследованиях: сб. мат. конференции. – Одесса: ОНПУ. – 2003. – С. 51–52.

Bibliography (transliterated): **1.** Stackpole, C. (2013). Snyder A Project Manager's Book of Forms, 2nd Edition: A Companion to the PMBOK® Guide, 5th Edition. John Wiley & Sons and Project Management Institute, 240. **2.** Kolesnikova, E. V., Stanovskaya, I. I. (2013). Metodyi kolichestvennoy otsenki stepeni transformatsii seriynoy proektnoy deyatelnosti v operatsionnuuy. Informatsiyni tehnologiyi v osviti, nauksi ta virobniitstvi, Odesa, AO Bahva, 4(5), 32–40. **3.** Madden, J. (2009). One Hundred Rules for NASA Project Managers. Available at: <http://www.oliverlehmman.com/project-management-sources/Nasa-Hundred-Rules-for-Project-Managers.pdf>. **4.** Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phe-

nomenon, its time to accept other success criteria. International journal of project management, 17(6), 337–342. **5.** Tarasyuk, M. I. (2004). Upravlnnyy proektami. Karavela, 344. **6.** Armstrong, M., Broun, D. (2006). Strategic Reward: Making it happen, Kogan Page, London. **7.** Bushuev, S. D. (2005). Razvitie sistem znaniy i tehnologiy upravleniya proektami. Upravlenie proektami i programmami, 2. **8.** Birnbaum, B. (2004). Strategic thinking: A four-piece puzzle. Costa Mesa, CA: Douglas Mountain Publishing. **9.** Ohashi, Y. (1992). Effects of complicated deformation history on inelastic deformation behaviour of metals. Memoirs of the Faculty of Engineering. Nagoa University, 34(1), 1–76. **10.** Materialyi s efektom pamyati formy, Pod red. V. A. Lihacheva. (1998). SPb.: NIИ SpbGU, 3, 474. **11.** Boldyireva, T. V. (2007). Metodicheskiy podhod k initsializatsii parametrov produktov proekta transportnogo predpriyatiya. VIsnik Odeskogo natsionalnogo morskogo unіversitetu, 22, 166–180. **12.** A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Third Edition. (2004). An American National Standard ANSI/PMI 99-001-2004, 388. **13.** Vasina, A. A. (2004). Finansovaya diagnostika i otsenka proektov. SPb: Piter, 447. **14.** Saveleva, O. S., Morgos, N. N. (2003). Vliyanie tehnologii pogruzki na dinamiku peremescheniya syipuchihyh yuzov. «Modelirovanie v prikladnyih nauchnyih issledovaniyah»: sb. mat. konf. Odesa, ONPU, 51–52.

Надійшла (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Савельева Оксана Степановна – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет; Кафедра нафтогазового та хімічного машиностроєння, пр. Шевченка, 1, г. Одеса, Україна, 65044; e-mail: okssave@gmail.com.

Савельева Оксана Степанівна – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет; Кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044;

Saveleva Oksana – doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Odessa National Polytechnic University; of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, ave. Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044

УДК 65.012.3: 316.422

I. I. СТАНОВСЬКА

ФРАКТАЛЬНА РОЗМІРНІСТЬ ЯК МІРА СТУПЕНЯ ВИРОДЖЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Показано, що нагальною проблемою проектного менеджменту є запобігання трансформації творчої роботи по попередженню внутрішніх та зовнішніх викликів на технологічну діяльність. Розглянуто питання чисельної оцінки ступеня трансформації креативної проектної діяльності в рутинну операційну. Для цього запропоновано розглядати в процесах управління проектами фрактальність і досліджувати далі цей процес як фрактальний об'єкт. Виконано представлення процесу управління проектом у вигляді двовимірного стохастичного фрактального об'єкта. Результати роботи впроваджені в процес управління проектами з позитивним ефектом.

Ключові слова: проектна діяльність, проектний фрактал, розмірність Хаусдорфа, фрактальна розмірність, трансформація свободи.

Вступ. Останнім часом в галузі управління проектами і програмами з'явилися роботи, в яких автори співвідносять креативну та оперативну частини проектного менеджменту, наголошуючи на те, що від зниження креативної частки потерпають, у першу чергу, можливості менеджменту протидіяти внутрішнім та зовнішнім викликам у вигляді несподіваних змін умов виконання проекту, різного роду ризикам, тощо [1 – 3]. Розробляються методи та підходи до збереження варіативної частини проекту за будь-яких умов.

В той же час, для опису таких методів, їхньої оцінки, порівняння за ефективністю, прийняття будь-яких адекватних рішень щодо вибору відповідних умов, які складаються, заходів, нагально потребують, в першу чергу, вибору одиниці вимірювання, в якій можна було б такі порівняння та оцінку виконувати, а також методу практичного визначення цієї одиниці. Саме обґрунтуванню такої одиниці вимірювання креативності проектної діяльності – фрактальній розмірності – присвячена ця робота.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Найпростіший фрактал – це геометрична фігура, яка має властивість самоподібності, тобто складена з декількох частин, кожна з яких подібна до усієї фігури цілком [4 – 7]. Фрактали цього класу найнаочніші. У двовимірному випадку їх одержують, наприклад, за допомогою деякої ламаної (або поверхні в тривимірному випадку), яку називають генератором. За один крок алгоритму кожний з відрізків, що становлять ламану, замінюється на ламану-генератор, у відповідному масштабі. В результаті нескінченного повторення цієї процедури, виходить геометричний фрактал (рис. 1).

Важливою характеристикою фракталу є його фрактальна розмірність. Так, фрактальна розмірність зображеного на рис. 1 фракталу дорівнює $\log_4/\log_3 = \log_{3.4} \approx 1,261859$ [8].

У простого геометричного фракталу епохи (ітерації) перетворення можуть тривати нескінченно. Природні ж і техногенні фрактали, до яких відносять

© I. I. Становська. 2015

ся й процесів управління проектом, мають чітко обмежений інтервал масштабів, в якому зберігається принцип фрактальності та у якому вони проявляють свою фрактальну природу [9].

У реальності будь-який фрактал має деякий мінімальний і максимальний масштаб довжини, при менших або більших значеннях цієї довжини самоподібність пропадає або порушується. Коли у формі фракталу з'являються елементи випадковості, говорять про «випадкові фрактали». Говорити про самоподібність в цих випадках можна, але тільки в статистичному сенсі, тобто коли не можна говорити про точні копії, а тільки про збіг статистичних характеристик (коли проводиться усереднення по всіх статистично незалежних реалізаціях процесу управління) [10].

Розглянемо фрактальний об'єкт, який займає якусь обмежену область A , що має $\text{diam}A = L$ в евклідовому просторі розмірності n [7]. Нехай на якомусь етапі його побудови він являє собою множину точок з $N \gg 1$, деяким чином розподілених у цій області. Зрештою припускаємо, що $N \rightarrow \infty$.

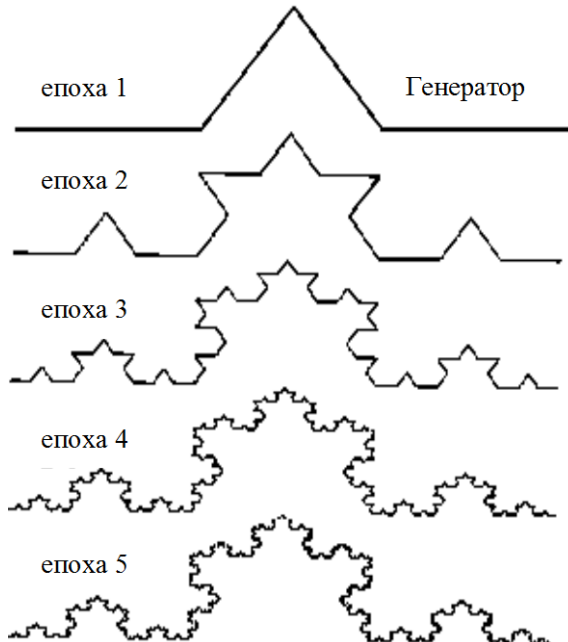


Рис. 1 – Приклад розвитку геометричного фракталу

Множина точок може являти собою деяку популяцію, що складається з особин одного виду, розподілених по області A . Такою популяцією можуть бути, наприклад, народонаселення або мережа метеостанцій. Обидві популяції нерівномірно розподілені по поверхні Землі. Просторовий розподіл енергії, розподіл помилок у каналі зв'язку, розподіл домішок у рідких середовищах, мас у речовині – приклади таких популяцій. Важливо відзначити, що нерівномірний розподіл особин залишається в силі незалежно від лінійного масштабу [6].

Розіб'ємо всю область A на гіперкубичні гнізда зі стороною ε і об'ємом ε^d (d – розмірність Хаусдорфа), відповідно. Далі нас будуть цікавити тільки зайняті гнізда, в яких міститься хоча б одна точка. Позначимо $N(\varepsilon)$ кількість таких гнізд, воно, очевидно, залежить

від ε . Нехай $n_i(\varepsilon)$ – кількість точок в i -му гнізді.

Тоді величина

$$p_i(\varepsilon) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n_i(\varepsilon)}{N} \quad (1)$$

є ймовірність того, що деяка точка міститься в i -му гнізді. Тобто, ця ймовірність характеризує відносну «заселеність» гнізда. За правилом нормування ймовірностей:

$$\sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i(\varepsilon) = 1 \quad (2)$$

Введемо в розгляд так звану узагальнену статистичну суму, яка характеризується показником q :

$$Z(q, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i^q(\varepsilon) \quad (3)$$

де $-\infty \leq q \leq +\infty$.

Спектром узагальнених фрактальних розмірностей Реньє точок, що характеризують розподіл, в області A називають сукупність величин:

$$d_q = \frac{\tau(q)}{q-1} \quad (4)$$

де

$$\tau(q) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln Z(q, \varepsilon)}{\ln \varepsilon} \quad (5)$$

Для звичайного однорідного фракталу всі ці розмірності збігаються. Тобто, якщо $d_q = \text{const}$, тобто не залежить від q , то розглянута множина точок являє собою звичайний, регулярний фрактал, який характеризується всього лише одною величиною – фрактальною розмірністю d_h . Напроти, якщо функція d_q якось міняється зі зміною q , то розглянута множина точок є мультифракталом.

Таким чином, мультифрактал у загальному випадку характеризується нелінійною функцією $\tau(q)$ статистичної суми, яка визначає поведінку $Z(q, \varepsilon)$ при $\varepsilon \rightarrow 0$:

$$Z(q, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i^q(\varepsilon) \approx \varepsilon^{\tau(q)} \quad (6)$$

Слід мати на увазі, що граничний перехід при $\varepsilon \rightarrow 0$ треба виконувати, пам'ятаючи, що йому завжди передуює межа $N \rightarrow 0$.

У випадку звичайного фракталу функція

$$\tau(q) = (q-1)d, \quad (7)$$

т.е. є лінійною. Тоді всі $d_q = d$ дійсно не залежать від q . Для фракталу, усі узагальнені фрактальні розмірності d_q якого збігаються, часто використовується термін *монофрактал*.

Якщо розподіл точок по гніздах неоднаковий, то фрактал є неоднорідним, тобто являє собою *мультифрактал*, і для його характеристики необхідний спектр узагальнених фрактальних розмірностей d_q , кількість яких, у загальному випадку, нескінченна.

Так, наприклад, при $q \rightarrow \infty$ основний внесок в узагальнену статистичну суму вносять гнізда, які містять найбільшу кількість часток n_i , і, отже, мають найбільшу ймовірність їх заповнення p_i . Навпаки, при $q \rightarrow -\infty$ основний внесок до суми дають найрозрідженіші гнізда з малими значеннями кількості заповнення

p_i . Таким чином, функція d_q показує, наскільки неоднорідним є досліджувана множина точок A [6].

При $q = 0$ з вираження (6) випливає, що

$$Z(0, \varepsilon) = N(\varepsilon). \tag{8}$$

З іншого боку,

$$Z(0, \varepsilon) \approx \varepsilon^{\tau(0)} = \varepsilon^{-d_0}. \tag{9}$$

Зіставляючи (8) і (9), приходимо до співвідношення $N(\varepsilon) \approx \varepsilon^{-d_0}$. Це означає, що величина d_0 являє собою звичайну хаусдорфовську розмірність множини A . Вона є найбільш грубою характеристикою Мультифракталу і не несе інформацію про його статистичні властивості [6].

Якщо

$$Z(1, \varepsilon) = 1, \tag{10}$$

то $\tau(1) = 0$, і інформаційна розмірність d_1 рівна:

$$Z(q, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i^q = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i \cdot \exp[(q-1) \ln p_i]. \tag{11}$$

Тепер, спрямовуючи $q \rightarrow 1$, розкладаючи експоненту та враховуючи умови нормування, одержуємо

$$\begin{aligned} Z(q \rightarrow 1, \varepsilon) &\approx \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} [p_i + (q-1) p_i \ln p_i] = \\ &= 1 + (q-1) \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i \ln p_i. \end{aligned} \tag{12}$$

В результаті приходимо до наступного виразу:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i \ln p_i}{\ln \varepsilon}, \tag{13}$$

яке і є, у підсумку, розмірністю стохастичного фракталу.

З точністю до знака чисельник у цій формулі є ентропією фрактальної множини:

$$S(\varepsilon) = - \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i \ln p_i \tag{14}$$

Таке визначення ентропії множини повністю ідентично використовуваному в термодинаміці, де під p_i розуміється ймовірність перебування системи у

квантовому стані i .

В результаті узагальнена фрактальна розмірність d_1 пов'язана з ентропією співвідношенням [6].

$$d_1 = - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{S(\varepsilon)}{\ln \varepsilon}. \tag{15}$$

У термодинаміці ентропія є мірою хаосу в системі [11]:

$$S(\varepsilon) \approx \varepsilon^{-d_1}, \tag{16}$$

тому величина d_1 характеризує інформацію, необхідну для визначення місця розташування точки в гнізді. У зв'язку із цим узагальнену фрактальну розмірність d_1 часто називають інформаційною розмірністю [7]. Вона показує, як інформація, необхідна для визначення місця розташування точки, зростає при прагненні розміру гнізда ε до нуля.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є підвищення ефективності управління проектами і якості продукту цих проектів за рахунок розробки та впровадження нових, фрактальних методів кількісної оцінки ступеня трансформації проектної діяльності в операційну.

Для досягнення цієї мети в роботі були поставлені такі завдання:

- здійснити математичне представлення процесу управління проектом у вигляді двовимірного стохастичного фрактального об'єкта;
- розробити метод та обґрунтувати моделі для розрахунків фрактальної розмірності проектної діяльності;
- виконати комп'ютерну симуляцію трансформації серійної проектної діяльності, та оцінити її за допомогою фрактальної розмірності;
- випробувати запропоновані метод та моделі в реальній проектній діяльності та визначити техніко-економічний ефект такого впровадження.

Представлення процесу управління проектом у вигляді двовимірного стохастичного фрактального об'єкта. Як відомо, параметричний простір процесу управління проектом може бути зведений до дев'ятивимірного, – по кількості функціональних областей [12]. Однак декомпозицію процесу можна виконати й по-іншому: наприклад, по окремих переділах (рис. 2).

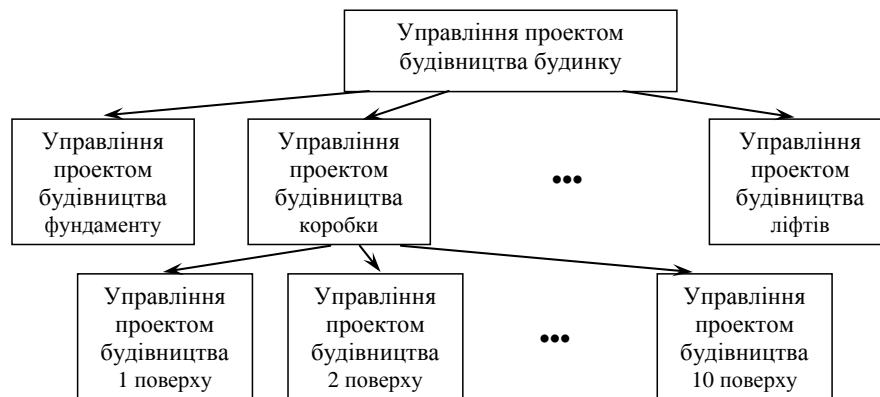


Рис. 2 – Декомпозиція процесу управління проектом на підпроцеси

Дійсно, процес управління, наприклад, проектом будівництва будинку (або програмою будівництва однотипних будинків) можна умовно розділити на процеси управління підпроектом будівництва фундаменту, бетонної коробки, стін, даху, електро- та сантехобладнання, ліфтового господарства, тощо. У кожному із цих підпроектів є дев'ять функціональних областей, що робить кожний такий підпроект повноцінним «маленьким проектом».

Очевидно, цей процес ієрархічного дроблення може бути продовжений і далі, убік подальшого зменшення масштабу підпроектів і створення повноцінних «маленьких проектів» наступного підрівня і т.д. (рис. 2). Це дозволяє розглянути в процесах управління проектами **фрактальність** і досліджувати далі цей процес як фрактальний об'єкт [13 – 15].

Розглянемо приклад з області управління серійними проектами. Для наочності згорнемо багатовимірний факторний простір проектної діяльності до двовимірного (наприклад, час і вартість), відзначаючи при цьому, що по суті всі основні міркування при цьому залишаються в силі і можуть бути поширені на простір будь-якої розмірності.

Природно припустити, що перед початком першого серійного проекту рівні трансформації цих двох параметрів проектної діяльності дорівнюють нулю: $T_1 = 0$ і $T_2 = 0$ (рис. 3 а).

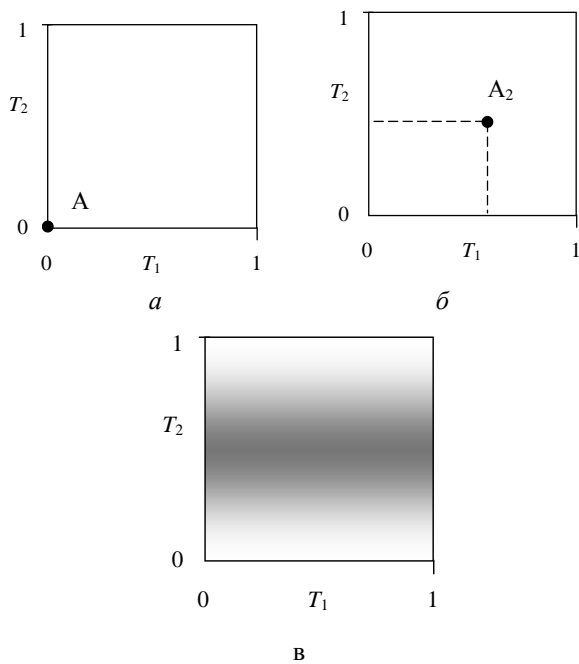


Рис. 3 – Спрощене представлення процесу управління проектом у вигляді двовимірного стохастичного фрактального об'єкта: а – початковий етап трансформації: її рівні T_1 та T_2 дорівнюють нулю; б – проміжний етап трансформації: $0 < T_1 \leq 1$, $0 < T_2 \leq 1$; в – стохастична трансформація: T_1 та T_2 відомі лише з деякою ймовірністю

До початку наступного проекту відбудеться деяка трансформація процесу управління серійними проектами, і точка А при цьому зміститься в положення A_2 (рис. 3 б).

Оскільки процес управління проектами – фрактал стохастичний, точне положення точки A_2 суть величина випадкова з деякою щільністю розподілу по

площі квадрата $T_1 \times T_2$ (рис. 3 в).

На рис. 9 а в розмірність точки А дорівнює нулю. Однак будемо вважати такий квадрат із точкою фрактальним генератором. Далі розіб'ємо його на чотири рівні подібні (квадратні) підобласті і замінимо кожен підобласть генератором (точніше, фігурою, подібною до генератора) (рис. 4). У фігурі, що вийшла, знову створимо підобласті й замінимо кожен підобласть генератором. Продовжуючи нескінченно, гранично одержимо фрактальну фігуру.

Розрахунки фрактальної розмірності проектної діяльності. Якщо подивитись на трансформацію проектної діяльності з погляду зміни свободи вибору тільки двох параметрів (для наочності), то апостеріорна, тобто така трансформація, що вже відбулася, буде являти собою деякий відрізок у координатах «свобода вибору першого параметра – свобода вибору другого» (рис. 5), а оцінкою трансформації буде довжина цього відрізка (метрика).

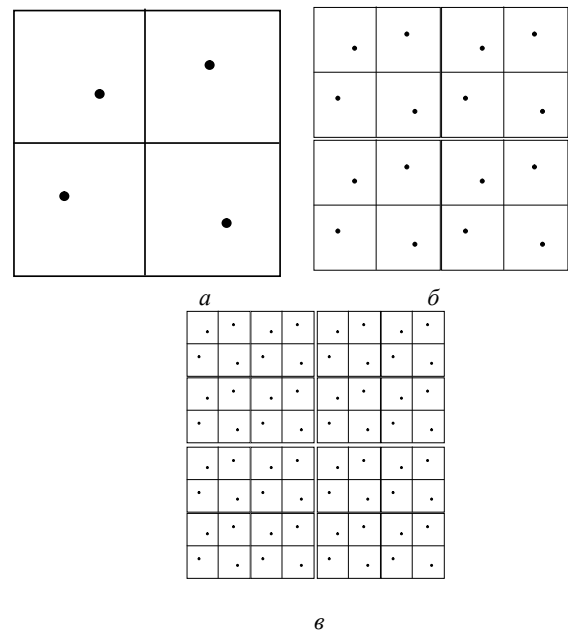


Рис. 4 – Приклад утворення фракталу, який моделює процес проектної діяльності: а – перший етап дроблення об'єкта, б – другий етап, в – третій етап

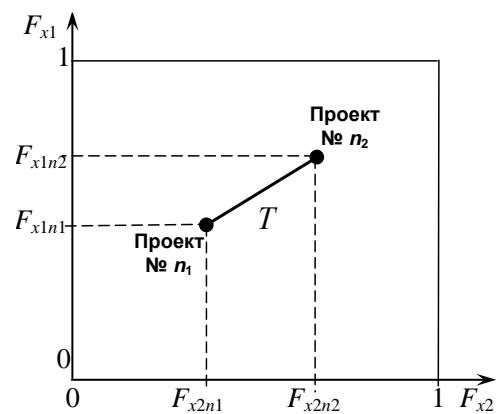


Рис. 5 – Детермінована трансформація свободи вибору двох параметрів

При апріорному прогнозі від поточного відомого стану в майбутнє другий кінець відрізка, що моделює

трансформацію, буде перебувати в деякій «хмарі ймовірностей», щільність якої залежить від конкретних обставин і може бути попередньо оцінена, наприклад, за допомогою методу експертних оцінок (рис. 6).

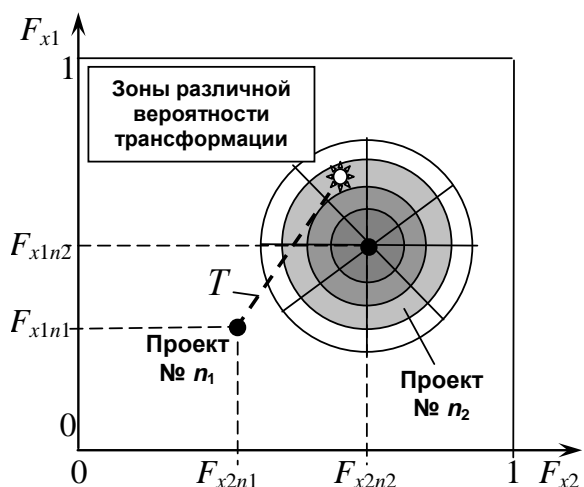


Рис. 6 – Стохастична трансформація свободи вибору двох параметрів

Ця обставина дозволяє припустити, що в стохастичному об'єкті і оцінка трансформації повинна бути стохастичною. У роботі в якості такої оцінки обрана розмірність стохастичного фракталу (рис. 7).

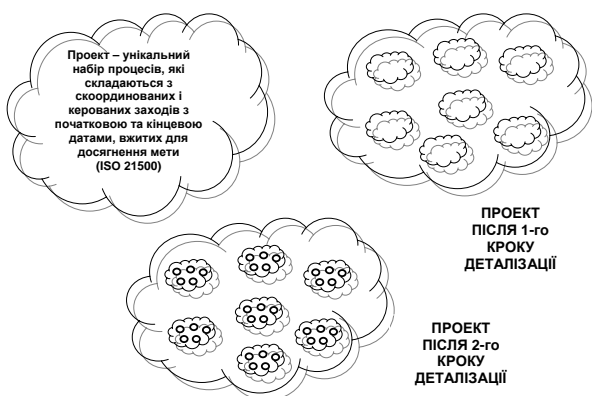


Рис. 7 – «Проектний» (стохастичний) фрактал

Розглянемо три найпоширеніші види фракталів. Перший з них – геометричний (табл. 1) має строго детерміновані правила побудови із чіткою та нескінченною послідовністю дроблення. Їхня геометрична розмірність завжди цілочисельна, а хаусдорфівська розмірність – дробова.


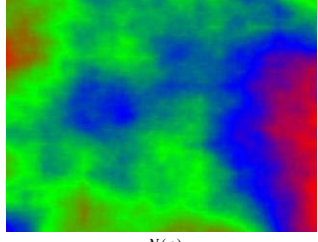
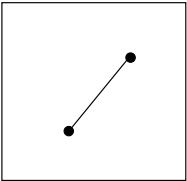
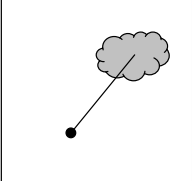
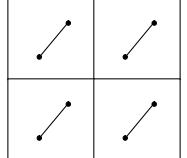
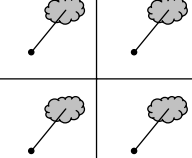
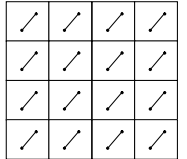
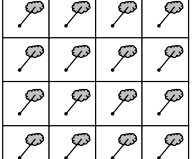
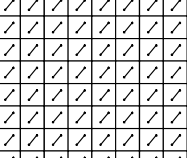
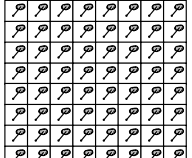
Таблиця 1 – Геометричний фрактал та його розмірності

Геометричний фрактал	$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln \epsilon}$	
Вид	Розмірність геометрична	Розмірність Хаусдорфа
	3,000	3,000
	3,000	2,756
	3,000	2,453
	3,000	2,298

Дробова розмірність – головна ознака фрактального об'єкта. Вона зберігається такою і в мультифракталах, і в стохастичних фракталах, приклади яких представлені в табл. 2. Тут показана самоподібність частин та цілого.

Ще один важливий атрибут стохастичного фракталу, який відрізняє його від геометричного, – скінченність дроблення.

Таблиця 2 – Мультифрактал, статистичний фрактал та їх розмірності

Фрактальна модель проектної діяльності			
Мультифрактал		Стохастичний фрактал	
 $D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln Z(q, \varepsilon)}{\ln \varepsilon}$		 $D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i \ln p_i}{\ln \varepsilon}$	
Вид	Розмірність Хаусдорфа	Вид	Розмірність Хаусдорфа
	0,008		0,009
	0,023		0,026
	0,071		0,079
	0,102		0,134

Результати комп'ютерної симуляції. На рис. 8 наведений результат комп'ютерної симуляції трансформації серійної проектної діяльності, в якій цю трансформацію оцінювали за допомогою фрактальної розмірності. Усі розрахунки в цьому випадку проводилися по відомих методиках теорії фракталів. Як бачимо, така оцінка досить чутлива та інформативна, крім того, її часова складність відносно невелика.

Вихідні дані:

- початкова трансформація – 0,012;
- кількість функціональних областей, що враховуються, – 4 (зміст, строки, витрати, персонал);
- кількість параметрів, що враховуються, – 12 (по 3 на кожен функціональну область);
- поріг трансформації параметра – 0,75.

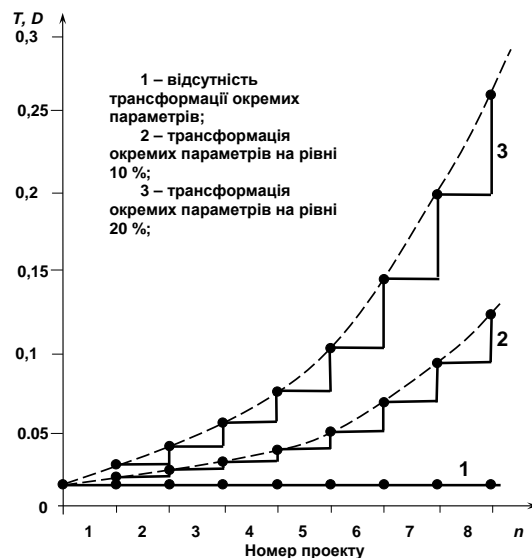


Рис. 8 – Результати оцінки трансформації за допомогою фрактального методу (комп'ютерна симуляція)

Практичне використання результатів дослідження. Розроблений метод був задіяний для управління програмою, що складається із серійних проектів навантажувально-розвантажувальних робіт для продукції металургійного виробництва. Практичні випробування методу показали такі техніко-економічні результати:

- розроблені нормативи для впровадження методології взаємодії з постачальником продукції металургійного виробництва;
- розроблені нормативи для впровадження методології взаємодії зі складом тимчасового зберігання;
- протягом виконання програми загальний рівень варіативної та креативної частин проекту не знижувався нижче 45 % від загальної кількості проектно-операційних робіт;
- швидкість навантаження збільшена в 1,8 рази;
- вартість навантаження знижена в 1,3 рази;
- порушення геометричних параметрів вантажу під час навантаження, перевезення та розвантаження знизилися на 5,6 %.

Висновки

1. Запропоновано математичне представлення процесу управління проектом у вигляді двовимірного стохастичного фрактального об'єкта;

2. Із врахуванням природної дискретизації проектно-діяльності на функціональні області та етапи запропоновано метод та моделі для побудови проектних фракталів розрахунків фрактальної розмірності проектно-діяльності.

3. Комп'ютерна симуляцію трансформації серійної проектно-діяльності показала можливість оцінювати її за допомогою стохастичної фрактальної розмірності.

4. Розроблений метод був задіяний для управління програмою, що складається із серійних проектів навантажувально-розвантажувальних робіт для продукції металургійного виробництва із позитивним техніко-економічним ефектом.

Список літератури: 1. Бушуев, С. Д. Современные подходы к развитию методологий управления проектами [Текст] / С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева // Управление проектами та розвиток виробництва. – 2005. – № 1. – С. 5–19. 2. Бушуев, С. Д. Модели и методы стратегического развития организаций от «видения» к реальности [Текст] / С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева // Управление проектами та розвиток виробництва. – 2005. – № 4. – С. 5–13. 3. Тесленко, П. А. Трансформация модели качественных свойств процессов проектов в модель состояний системы [Текст] / П. А. Тесленко, В. Д. Гогунский // Управление проектами та розвиток виробництва. – 2010. – № 1(33). – С. 42–46. 4. Федер, Е. Фракталы [Текст] / Е. Федер. – М.: 1991. – 524 с. 5. Кроновер, Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах [Текст] / Р. М. Кроновер. – М.: 2000. – 433 с. 6. Божожкин, С. В. Фракталы и мультифракталы [Текст] / С. В. Божожкин, Д. А. Паршин. – М.: 2001. – 372 с. 7. Рыбаков, Д. А. Фрактальная размерность. Реферат [Электронный ресурс] / Д. А. Рыбаков. – Режим дос-

тупа: <<http://dim1r.narod.ru/Fractal Dimension1.doc>>. – 13.09.2011. 8. Размерность пространства и фракталы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <<http://www.zodiac.od.ua/seminars-nau-era/46-space-dimension-and-fractals.html>>. – 12.05.2012. 9. Матвиенко, А. В. Фрактальные свойства микрогеометрии обработанных поверхностей [Электронный ресурс] / А. В. Матвиенко. – Режим доступа: <<http://www.masters.donntu.edu.ua/2007/mech/majeed/library/st%20ru.html>>. – 11.05.2013. 10. Марголин, В. И. Основные представления фрактальной геометрии и фрактальной физики [Текст] / В. И. Марголин. – СПб: ЛЭТИ. – Режим доступа: <<http://www.bio-lavka.kiev.ua/litairfrakt.shtml>>. – 23.07.2013. 11. Осипов, А. И. Энтропия и ее роль в науке [Текст] / А. И. Осипов, А. В. Уваров // Сетевой образовательный журнал. – 2004. – Т. 8. – № 1. – С. 70–79. 12. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом [Текст] / ГОСТ Р 54869-2011. Project management. Requirements for project management. – Дата введения 2012-09-01. 13. Колесникова, Е. В. Фрактальная размерность как мера трансформации серийной проектной деятельности в операционную [Текст] / Е. В. Колесникова, И. И. Становская // Праці Одеського політехнічного університету, 2013. – Вип. 2(41). – С. 282–288. 14. Становская, И. И. Фрактальная размерность проектной деятельности [Текст] / И. И. Становская, Е. В. Колесникова, И. Н. Гурьев // Материалы XXI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 22 – 23 января 2013. – С. 23–25. 15. Колесникова, Е. В. Показатель трансформации проектной деятельности в операционную при управлении серийными проектами [Текст] / Е. В. Колесникова, И. И. Становская // Материалы XXI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 22 – 23 января 2013. – С. 26–28.

Bibliography (transliterated): 1. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S. (2005). Sovremennyye podhody k razvitiyu metodologiy upravleniya projektami. Upravlinnya projektami ta rozvitok vyrobnytstva, 1, 5–19. 2. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S. (2005). Modeli i metodyi strategicheskogo razvitiya organizatsiy ot «videniya» k realnosti. Upravlinnya projektami ta rozvitok vyrobnytstva, 4, 5–13. 3. Teslenko, P. A., Gogunskiy, V. D. (2010). Transformatsiya modeli kachestvennykh svoystv protsessov projektov v model sostoyaniy sistem. Upravlinnya projektami ta rozvitok virobnytstva, 1(33), 42–46. 4. Feder, E. (1991). Fraktalyi, 524. 5. Kronover, R. M. (2000). Fraktaly i haos v dinamicheskikh sistemah, 433. 6. Bozhokin, S. V., Parshin, D. A. (2001). Fraktaly i multifraktalyi, 372. 7. Rybakov, D. A. (2011). Fraktalnaya razmernost. Available: <<http://dim1r.narod.ru/Fractal Dimension1.doc>>. 8. Razmernost prostranstva i fraktalyi (2012). Available: <<http://www.zodiac.od.ua/seminars-nau-era/46-space-dimension-and-fractals.html>>. 9. Matvienko, A. V. (2013). Fraktalnye svoystva mikrogeometrii obrabotannykh poverhnostey. Available: <<http://www.masters.donntu.edu.ua/2007/mech/majeed/library/stru.html>>. 10. Margolin, V. I. (2013). Osnovnyie predstavleniya fraktalnoy geometrii i fraktalnoy fiziki. Available: <<http://www.bio-lavka.kiev.ua/litairfrakt.shtml>>. 11. Osipov, A. I., Uvarov, A. V. (2004). Entropiya i ee rol v nauke. Setevoy obrazovatelnyy zhurnal, 8(1), 70–79. 12. Proektnyy menedzhment. Trebovaniya k upravleniyu projektom (2012). GOST R 54869-2011. Project management. Requirements for project management. 13. Kolesnikova, E. V., Stanovskaya, I. I. (2013). Fraktalnaya razmernost kak mera transformatsii seriynoy projektnoy deyatel'nosti v operatsionnyuyu. Pratsi Odeskogo politehnichnogo universitetu, 2(41), 282–288. 14. Stanovskaya, I. I., Kolesnikova, E. V., Gurev, I. N. (2013). Fraktalnaya razmernost projektnoy deyatel'nosti. Materialy XXI seminaru «Modelirovanie v prikladnykh nauchnykh issledovaniyakh», 23–25. 15. Kolesnikova, E. V., Stanovskaya, I. I. (2013). Pokazatel transformatsii projektnoy deyatel'nosti v operatsionnyuyu pri upravlenii seriynymi projektami Materialy XXI seminaru «Modelirovanie v prikladnykh nauchnykh issledovaniyakh», 26–28.

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Становська Іраїда Іванівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри вищої математики та моделювання систем; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044;

Становская Ираида Ивановна – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, доцент кафедры высшей математики и моделирования систем; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; тел.: 093-064-57-49; e-mail: iraidasweet07@rambler.ru.

Stanovskaya Iraida – candidate of technical Science, Odessa National Polytechnic University, Docent of Department of Oilgas and chemical mechanical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044

УДК 621.331: 621.311.4

А. А. МАТУСЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

В условиях критичности технологических процессов и режимов работы, железных дорог в современных условиях эксплуатации необходимо повышение эксплуатационной надежности тяговых подстанций за счет совершенствования системы технического обслуживания и ремонта силового электрооборудования. Современные подходы совершенствования системы обслуживания касаются в основном методов контроля параметров, в процессе диагностирования технического состояния, и методов определения назначенного ресурса оборудования, а это возможно лишь при разработке современных моделей, которые позволят определить функцию наработки на отказ силового электрооборудования тяговых подстанций электрифицированных железных дорог с учетом его индивидуальных особенностей.

Ключевые слова: тяговая подстанция, ремонт, обслуживание, модель, матрица

Введение. Решения первоочередных задач, которые стоят перед электрифицированными железными дорогами, невозможно без обеспечения надежной работы тягового электроснабжения электрического транспорта, которое в свою очередь зависит от надежности функционирования силового электрооборудования тяговых подстанций (ТП). Поэтому в условиях критичности технологических процессов и режимов работы железных дорог в современных условиях эксплуатации необходимо повышение эксплуатационной надежности ТП за счет усовершенствования системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) оборудования ТП.

Совершенствование системы системы ТО и Р силового электрооборудования ТП, согласно требований нормативной технической документации, касается в основном методов контроля параметров в процессе диагностирования технического состояния и методов определения назначенного ресурса оборудования ТП, а это возможно лишь при разработке современных моделей, которые позволят определить функцию наработки на отказ силового электрооборудования ТП с учетом их индивидуальных особенностей. Однако, согласно существующих стандартов показатели системы технического обслуживания и ремонта позволяют оценивать только расходы (или общие расходы) времени, труда и средств на техническое обслуживание и ремонты а также коэффициент готовности (K_r) и коэффициент технического использования ($K_{ти}$) [1].

Анализ исследований. Анализ существующего многообразия подходов разработки современных методов совершенствования системы ТО и Р, позволяет сделать вывод, решение проблемы повышения качества системы достигается решением индивидуальных заданий повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП в трех основных взаимосвязанных направлениях: техническом, экономическом и организационном [2,3]. Содержание этих направлений включает следующие направления: совершенствование организации управления ТО и Р; рациональная централизация обслуживания и ремонта и обоснования целесообразности мощности ремонтных подразделений; всестороннее совершенствование технологии обслуживания и ремонта; выбор оптимальной стратегии обслуживания и ремонта силового электрооборудования ТП. Однако для определения эффективности данного подхода необходимо разработать методику определения интегральной оценки ка-

чества системы ТО и Р. В настоящее время подобные показатели оценки качества системы ТО и Р отсутствуют [1].

Практически формирование методики для исследования разных систем дискретных параллельных асинхронных процессов может осуществляется на основе разных подходов. Наиболее распространенными являются системы и сети массового обслуживания а также такие модели и методы как стохастические автоматы, сети Мерлина, стохастические сети Петри и так далее. Однако в последнее время появились новые публикации решения данных проблем на основе матриц знаний [3, 4].

Изложение материала исследования. Для повышения качества системы ТО и Р ТП с помощью данного метода необходимо охватить все основные аспекты функционирования системы, а это возможно только при рассмотрении проблемы с разных сторон (объемное построение системы). Практическое задание совершенствования системы заключается в разработке модели которая на основе научно - методического аппарата позволит решать задание создания, использования и оценки эффективности системы ТО и Р ТП. Основную задачу модели является научное обеспечение процесса усовершенствования системы технического обслуживания оборудования ТП за счет правильной оценки эффективности решений и выбора рационального варианта технической реализации системы.

Согласно современных подходов [2, 3] система ТО и Р ТП должна быть ориентирована на решение:

- регулярного процесса повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП на всех этапах жизненного цикла;
- осуществление оптимизации требований к ТО и Р и выбора эффективной стратегии обслуживания;
- повышение эксплуатационной надежности оборудования и выявлению потенциальных критических рисков эксплуатации и их оценка;
- внедрению процесно-ориентированного подхода диагностирования оборудования и определения ресурса с учетом эксплуатационных факторов;
- применение современных методов моделирования системы ТО и Р с целью непрерывного совершенствования системы (FMEA методология);
- повышение эффективности управления системы ТО и Р, уровня интеллектуализации и автоматизации системы;

© А. А. Матусевич. 2015

- обеспечение необходимого финансирования, материально - технического обеспечения ТО и Р;
- обеспечение качества выполнения работ ремонтными бригадами;
- контроля эффективности и качества ТО и Р ТП, и тому подобное.

При построении такой системы необходимо объединить все средства, методы и мероприятия, которые используются для повышения эксплуатационной

надежности оборудования ТП в единственный, целостный механизм повышения качества системы технического обслуживания и ремонта.

С целью решения выше рассмотренных задач можно предложить модель совершенствования и повышения качества системы ТО и Р силового электрооборудования ТП, которая отображена на рис. 1.

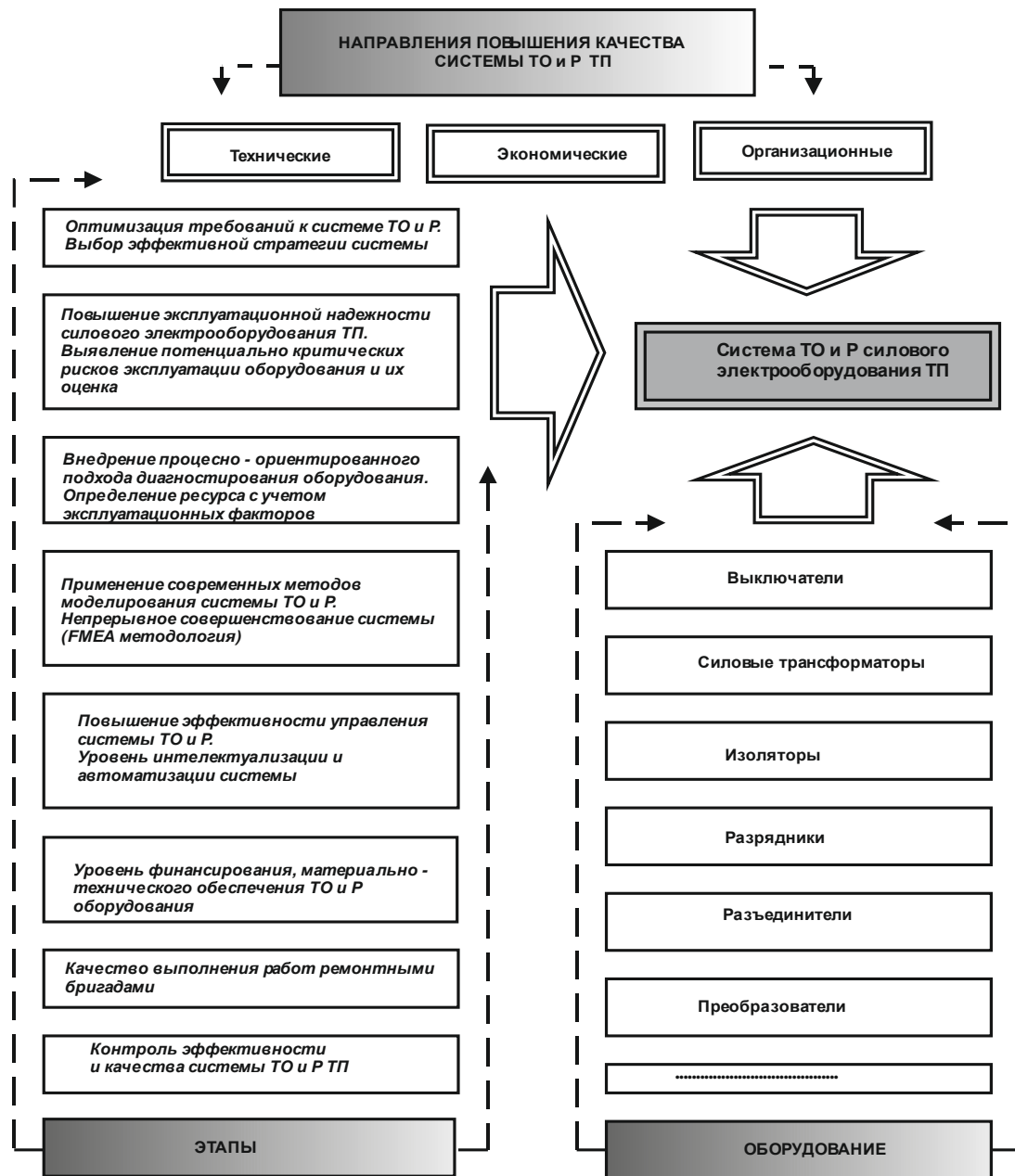


Рис. 1 – Модель совершенствования и повышения качества и эффективности системы ТО и Р силового электрооборудования ТП

Для решения основных задач предложенной модели система ТО и Р силового электрооборудования ТП должна владеть следующими свойствами:

- функционировать в условиях высокой неопределенности начальной информации;
- простота внедрения, универсальность, комплексность, практическая направленность, возможность наращивания.

Возможности предложенной модели должны позволять:

- оперативно реагировать на изменения условий функционирования ТП;
- контролировать состояние эксплуатации силового электрооборудования ТП в условиях неопределенности;

- установить взаимосвязь между качеством системы обслуживания и эксплуатационной надежностью силового электрооборудования;
- выбор оптимальной стратегии обслуживания оборудования ТП;
- применять методику оценки уровня качества системы обслуживания силового электрооборудования ТП, и тому подобное.

Решение отмеченных проблем дает возможность иметь самое полное представление о состоянии совершенствования и повышения качества системы технического обслуживания и ремонта и повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП.

Выше указанное, позволяет выделить основные группы составляющих модели повышения качества системы ТО и Р ТП, это: *первая группа* - технические, экономические и организационные; *вторая группа* - силовое электрооборудование ТП которое нуждается в повышении эксплуатационной надежности; *третья группа* - этапы (последовательность) повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП.

Рассмотрим взаимосвязь между группами составляющих модели повышения качества системы ТО и Р ТП.

Например, повышение эксплуатационной надежности "Силовых трансформаторов" необходимо рассматривать по всем направлениям усовершенствования системы ТО и Р ТП с целью повышения эксплуатационной надежности, а именно: *технические, экономические и организационные*.

Аналогично можно рассматривать остальные составляющие модели второй группы.

Следовательно, для формирования общего представления о конкретной системе ТО и Р необходимо ответить на минимальное количество $K = M_i \cdot N_j$ самых простых вопросов. Здесь M_i - количество составляющих первой группы, N_j - количество составляющих второй группы. В нашем случае $M_i = 3$, $N_j = n$, следовательно $K = 3 \cdot n$.

Однако, составляющие 1 и 2 группы необходимо реализовать в равной степени для каждого отдельно этапа совершенствования системы ТО и Р (с учетом третьей группы составляющих модели).

Таким образом, количество заданий для решения проблемы совершенствования системы ТО и Р ТП может быть определена из соотношения: $K = M_i \cdot N_j \cdot P_k$, где P_k - количество составляющих третьей группы. Следовательно при $M_i = P$, $N_j = n$, $P_k = m$: $K = 3 \cdot n \cdot m$.

Качественное выполнение общего количества заданий совершенствования системы ТО и Р ТП (рис. 1) можно оценить с помощью обобщенного показателя качества системы [3, 4, 5]. Для решения этой проблемы можно предложить метод определения действительного интегрального показателя качества системы ТО и Р ТП в виде матрицы оценки качества и

эффективности (рис. 2), с учетом всех составляющих системы (рис. 1).

В нашем случае общее количество элементов матрицы равно $K = 3 \cdot n \cdot m$.

Элементы матрицы имеют соответствующую нумерацию.

Нумерация(00X) - отвечает номерам составляющих первой группы. Нумерация (0X0) - отвечает номерам составляющих второй группы. Нумерация (X00) - отвечает номерам составляющих третьей группы.

Информация каждого элемента матрицы, например - (111), описывает взаимосвязь всех трех составляющих модели (рис. 1).

Вокруг вопросов совершенствования и повышения качества системы ТО и Р рассматривается путем анализа разных групп элементов матрицы в зависимости от поставленных целей и решаемых задач. Например, рассматривая элементы матрицы $113 \div P13$, $123 \div P23$, $133 \div P33$, $143 \div P43$, $1n3 \div Pn3$, можно отдельно оценить качество совершенствования системы по организационному направлению.

Рассматривая элементы $411 \div 4n3$ можно оценить качество мероприятий по применению современных методов моделирования системы ТО и Р и непрерывного совершенствования системы с применением ФМЕА методологии.

Рассматривая элементы $131 \div P33$ можно оценить уровень совершенствования системы обслуживания изоляторов по всем направлениям повышения качества ТО и Р. Аналогично можно дать оценку качества совершенствования системы обслуживания для другого силового электрооборудования ТП.

Для оценки совершенствования системы ТО и Р ТП в целом (повышение эксплуатационной надежности всех видов силового электрооборудования ТП по всем направлениям и этапам качества ТО и Р), необходимо рассматривать элементы $111 \div Pn3$.

Для сложных элементов могут создаются свои матрицы с соответствующими перечнями вопросов.

Для проведения экспертизы качества системы ТО и Р можно применять методы экспертных оценок - это методы организации работы со специалистами-экспертами и обработок выводов экспертов [6]. Результаты экспертных оценок выражаются в количественной и / или качественной форме с целью подготовки информации для принятия решений. Для проведения экспертизы создают экспертную группу, которая организует по поручению руководства дистанции электроснабжения деятельность экспертов с оценки качества совершенствования системы ТО и Р. Для упрощения процедуры сбора и обработки результатов экспертных оценок целесообразно автоматизировать этот процесс с помощью средств взаимодействия "ЭКСПЕРТ-ЭВМ".

С целью обработки результатов экспертных оценок и определения результирующих показателей повышения качества системы ТО и Р можно применить аддитивный, мультипликативный или максиминный результирующие показатели [7-10].

<<< <i>Этапы</i>	<i>Оборудование ТП >>></i>	010			020			030			040			0n0										
		Высоковольтные выключатели			Силовые трансформаторы			Изоляторы			Разрядники												
	<i>Направления повышения качества ТО и Р >>></i>													Технические	Экономические	Организацион-	Технические	Экономические	Организацион-	Технические	Экономические	Организацион-	Технические	Экономические
		011	012	013	021	022	023	031	032	033	041	042	043	0n1	0n2	0n3								
100	Оптимизация требований к системе ТО и Р. Выбор эффективной стратегии системы	111	112	113	121	122	123	131	132	133	141	142	143	1n1	1n2	1n3								
200	Повышение эксплуатационной надежности силового электрооборудования ТП	211	212	213	221	222	223	231	232	233	241	242	243	2n1	2n2	2n3								
300	Внедрение процесно – ориентированного подхода диагностирования оборудования. Определение ресурса с учетом эксплуатационных факторов	311	312	313	321	322	323	331	332	333	341	342	343	3n1	3n2	3n3								
400	Применение современных методов моделирования системы ТО и Р. Непрерывное совершенствование системы (FMEA методология)	411	412	413	421	422	423	431	432	433	441	442	443	4n1	4n2	4n3								
500	Повышение эффективности управления системы ТО и Р. Уровень интеллектуализации и автоматизации системы	511	512	513	521	522	523	531	532	533	541	542	543	5n1	5n2	5n3								
600	Уровень финансирования, материально - технического обеспечения ТО и Р силового электрооборудования ТП	611	612	613	621	622	623	631	632	633	641	642	643	6n1	6n2	6n3								
700	Качество выполнения работ ремонтными бригадами	711	712	713	721	722	723	731	732	733	741	742	743	7n1	7n2	7n3								
800	Контроль эффективности и качества системы ТО и Р ТП	811	812	813	821	822	823	831	832	833	841	842	843	8n1	8n2	8n3								
PN0	P11	P12	P13	P21	P22	P23	P31	P32	P33	P41	P42	P43	Pn1	Pn2	Pn3								

Рис. 2 – Матрица оценки качества и эффективности системы ТО и Р ТП

Аддитивный показатель является суммой взвешенных нормируемых частных показателей повышения качества системы ТО и Р (Q_{α}) и имеет вид

$$Q_{\alpha} = \sum_{i=1}^m \alpha_i q_i, \tag{1}$$

где Q_{α} - обобщенный показатель повышения качества системы ТО и Р ($0 \leq Q_{\alpha} \leq 1$); q_i - значение i -го показателя; α_i - взвешивающий коэффициент i -го показателя. Чем больше его величина, тем больше он влияет на повышение надежности функционирования системы; $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$; $\alpha_i > 0$; $i = 1, m$.

Мультипликативный показатель образуется путем перемножения частных показателей из учетом их взвешивающих коэффициентов и имеет вид

$$Q_{\alpha} = \prod_i q_i^{\alpha_i}, \tag{2}$$

где q_i и α_i имеет тот же смысл, что и в аддитивном показателе.

Максиминный показатель. В ряде случаев вид результирующей целевой функции достаточно трудно обосновать или применить. В подобных случаях возможным простым путем решения задачи является применение максиминного показателя. В этом случае

правило выбора оптимальной системы повышения качества ТО и Р ТП (S_o) имеет следующий вид

$$\max(S \in M) \min(1 \leq i \leq m) \{q_1^{a_i}(S), \dots, q_i^{a_i}(S), \dots, q_m^{a_m}(S)\}. \quad (3)$$

Максиминный показатель повышения качества системы ТО и Р обеспечивает наилучшее (больше всего) значение наихудшего (наименьшего) из частных показателей качества.

Выводы. Разработанная модель и метод оценки качества системы ТО и Р ТП позволяет: оперативно реагировать на изменения условий функционирования силового электрооборудования ТП; определять наиболее эффективные стратегии ТО и Р электрооборудования ТП в условиях неопределенности функционирования дистанции электроснабжения; задавать (имитировать) разные условия эксплуатации оборудования ТП для выбора оптимального варианта обслуживания и достижения необходимого уровня качества системы ТО и Р; контролировать состояние совершенствования системы; определять уровень действительного интегрального показателя качества системы ТО и Р в целом или отдельно по каждому виду оборудования, направлению и этапу совершенствования системы.

Список литературы: 1. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения [Текст]: ГОСТ 18322-78 – 1978. 2. Андришин, А. В. Основы концепции комплексного подхода к системе технического обслуживания и ремонта на электростанции [Текст] / А. В. Андришин, Д. А. Баршак, Ю. Л. Гуськов, Н. И. Тимошенко. – Моск. Энерг. ин-т. – 2000. Деп. в ВИНТИ, 06.04.00, No 913-V00. 3. Матусевич, А. А. Совершенствование методологии системы технического обслуживания и ремонта тяговых подстанций [Текст]: монография / А. А. Матусевич // Днепропетровск: Днепропетр. нац. ун-т железнодорожного трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2015. – 295 с. 4. Домарев, В. В. Безопасность информационных технологий [Текст]: учебник / В. В. Домарев – М.: DiaSoft, 2004. – 975 с. 5. Street, I. M. Utilizing the Nanticoke generating system life management unit investment planning system [Text] / I. M. Street, D. J. Keüler // Proc. Amer. Power Conf.-Chicago (Ill.), 1994. – P. 270–276. 6. Матусевич, А. А. Методика проведения экспертизы оценки надежности функционирования системы автоматизированного управления тягового электроснабжения электрического транспорта [Текст] / А. А. Матусевич // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2009. – No28. – С. 37–39. 7. Матусевич, А. А. Методы повышения надежно-

сти функционирования системы управления тягового электроснабжения электрического транспорта на основе экспертной информации [Текст] / А. А. Матусевич // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2009. – No26. – С. 63–66. 8. Матусевич, А. А. Современные подходы технического обслуживания и ремонта оборудования тяговых подстанций электрифицированных железных дорог на основе SMART – технологий [Текст] / А. А. Матусевич // Наука и прогресс. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2014. – No 4 (52). – С. 75–82. 9. Матусевич, А. А. Построение модели системы защиты информационно - управляющих телемеханических комплексов электроснабжения железных дорог [Текст] / А. А. Матусевич // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2007. – No 14. – С. 59–63. 10. Попков, В. И. Проблемы диагностики и прогнозирования надежности энергетического оборудования [Текст] / В. И. Попков, К. С. Демирчян // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1979. – No 6.

Bibliography (transliterated): 1. Sistema texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta texniki. (1978). Terminy i opredeleniya: GOST 18322-78. 2. Andryushin, A. B., Barshak, D. A., Guskov, Yu. L., Timoshenko, N. I. (2000). Osnovy koncepcii kompleksnogo podxoda k si-steme texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta na elektrostancii. Moskva. Energ.in-t. Dep v VINITI, 06.04.00, No 913-V00. 3. Matusevich, A. A. (2015). Sovershenstvovanie metodologii sistemy texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tyagovykh podstancij: monografiya. Dnepropetrovsk: Dnepropetr. nac. un-t zheleznodorozhnog transp. im. akad. V. Lazaryana, 295. 4. Domarev, V. V. (2004). Bezopasnost informacionnyx texnologij [Tekst]: uchebnik. Moskva: DiaSoft, 975. 5. Street, I. M., Keüler, D. J. (1994). Utilizing the Nanticoke generating system life management unit investment planning system. Proc. Amer. Power Conf.-Chicago (Ill.), 270–276. 6. Matusevich, A. A. (2009). Metodika provedeniya ekspertizy ocenki nadezhnosti funkcionirovaniya sistemy avtomatizirovannogo upravleniya tyagovogo elektricheskogo transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo nacionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta, No28, 37–39. 7. Matusevich, A. A. (2009). Metody povysheniya nadezhnosti funkcionirovaniya sistemy upravleniya tyagovogo elektricheskogo transporta na osnove ekspertnoj informacii. Vestnik Dnepropetrovskogo nacionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta, No 26, 63–66. 8. Matusevich, A. A. (2014). Sovremennye podxody texnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya tyagovykh podstancij elektrificirovannyx zheleznnyx dorog na osnove SMART –texnologij. Nauka i progress. Vestnik Dnepropetrovskogo nacionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta, No 4 (52), 75–82. 9. Matusevich, A. A. (2007). Postroenie modeli sistemy zashhity informacii-onno - upravlyayushhix telemexanicheskix kompleksov elektrosnabzheniya zheleznnyx dorog. Vestnik Dnepropetrovskogo nacionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta, No 14, 59–63. 10. Popkov, V. I., Demirchyan, K. S. (1979). Problemy diagnostiki i prognozirovaniya nadezhnosti energeticheskogo oborudovaniya. Izv. AN SSSR. Energetika i transport, No 6.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Матусевич Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна; кафедра «Электроснабжение железных дорог», ул. акад. Щорса, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010; e-mail: alm0452@meta.ua.

Матусевич Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна; кафедра «Електропостачання залізниць», вул. акад. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010; e-mail: alm0452@meta.ua.

Matusevich Alexander – PhD, Associate Professor, National University of Dnipropetrovsk railway transport them. Acad. V. Lazaryan; Department of "Electricity railways", st. Acad. Lazaryan 2, m. Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010; e-mail: alm0452@meta.ua.

УДК 66.083.2:66-971:614.849

С. В. ГАРБУЗ, А. А. КОВАЛЁВ, А. В. ТИТАРЕНКО

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ВЫБРОСОВ ПАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЗЕРВУАРОВ ХРАНЕНИЯ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Рассмотрены причины и показана экологическая опасность «больших» и «малых» дыханий резервуаров хранения светлых нефтепродуктов. Представлены результаты теоретических расчетов количественной оценки выбросов паров нефтепродуктов, через дыхательную арматуру резервуара, а также данные натурального эксперимента по оценке концентраций паров бензина и дизельного топлива в приземном слое атмосферы при «большом дыхании» резервуара РВС-5000. Обоснованы организационно-технические меры, направленные на снижение экологической опасности выбросов паров нефтепродуктов из резервуаров.

Ключевые слова: экологическая опасность, светлые нефтепродукты, концентрация паров, выбросы паров.

Введение. Развитие производственного потенциала Украины невозможно без создания и внедрения современных, экологически безопасных технологий хранения светлых нефтепродуктов. Хранение нефтепродуктов организуется в резервуарах различных типов и конструкций: надземных, подземных, вертикальных, горизонтальных, стальных и железобетонных. Вертикальные цилиндрические резервуары (РВС) в свою очередь разделяются на следующие виды:

- Резервуары со стационарной конической или сферической крышей;
- Резервуары со стационарной крышей с плавающим понтоном,
- Резервуары с плавающей крышей.

Ежегодно Украина потребляет более 8 млн. т. светлых нефтепродуктов, при этом суммарный объем резервуаров хранения данного вида нефтепродуктов составляет более 1,5 млн. т. [1]. Хранение светлых нефтепродуктов организовано в резервуарных парках нефтебаз, терминалах загрузки светлых нефтепродуктов, автозаправочных станциях и т.д.

При эксплуатации резервуаров и организации хранения нефтепродуктов в атмосферный воздух поступает значительное количество паров топлив, вызывая следующие негативные последствия [2]:

- Пары топлив высокотоксичны и оказывают отравляющее действие на организм человека и прилегающие экосистемы;
- Пары топлив легковоспламеняемы, вытеснение из резервуара значительного количества данных паров повышает пожарную опасность процесса дегазации;
- Прямой экономический ущерб, вследствие потерь нефтепродукта при рассеивании паров топлив в атмосфере. Для уменьшения экономических потерь, действующие в Украине ВБН В.2.2-58.1-94, только рекомендуют применение на резервуарах, установок улавливания и рекуперации паров нефтепродуктов.

Пары топлив поступают в атмосферный воздух из внутреннего объема резервуара через дыхательные клапаны [3], ввиду следующих причин:

- «Большие дыхания резервуаров» – происходят при вытеснении паровоздушной смеси в окружающую среду в процессе заполнения резервуара нефтепродуктом, когда объем газового пространства,

уменьшается и срабатывает дыхательный клапан. Массу паров нефтепродуктов, поступающих в атмосферу при больших дыханиях можно рассчитать по объему вытесняемых паров, например, при заполнении емкости в 20 м³ в атмосферный воздух выводится до 20 кг бензина. На крупных нефтебазах с большим грузооборотом каждый резервуар может заполняться и опорожняться до нескольких десятков раз в течение года, и потери от испарения являются значительными.

- «Малые дыхания резервуаров» – происходят вследствие изменения температуры в газовом пространстве резервуара в течение суток. Днем скорость испарения нефтепродукта с ростом температуры увеличивается, возрастает и давление газовой смеси. При этом механический дыхательный клапан поддерживает избыточное давление в газовом пространстве резервуара не более предельного (2 кПа), открываясь кратковременно для выпуска паровоздушной смеси в атмосферу. Ночью температура снижается, давление в газовой части понижается, образуется разрежение. При достижении вакуума выше предельного (0,2 кПа) дыхательный клапан открывается и выпускает воздух в газовое пространство резервуара.

- Дегазации внутреннего пространства резервуара путём принудительной вентиляции (при проведении регламентных и ремонтных работ). Например, при принудительной вентиляции резервуара РВС-5000 в атмосферный воздух поступает 1,5 т. паров нефтепродуктов, при этом время вентиляции составляет 91,15 час.

Для повышения экологической безопасности населения в районах размещения резервуаров хранения светлых нефтепродуктов, необходимо установить концентрацию вредных веществ (паров топлив) в атмосферном воздухе при «больших» и «малых» дыханиях резервуаров, а также обосновать организационно-технические меры, направленные на снижение экологической опасности «больших» и «малых» дыханий.

Анализ литературных данных та постановка проблеми. Несмотря на отсутствие залпового выброса паров топлив в атмосферный воздух при «малых» дыханиях резервуаров, опасность для здоровья человека и прилегающих экосистем обусловлена продолжительным временем воздействия относительно ма-

© С. В. Гарбуз, А. А. Ковалёв, А. В. Титаренко . 2015

лых выбросов. Например, в Европейском союзе (ЕС), согласно директиве 94/63/ЕС введены нормативы на улавливание паров углеводородов. К 2000 году все АЗС, а к 2004 г. все резервуарные парки нефтебаз, терминалы загрузки светлых нефтепродуктов (в том числе и автоцистерны) эксплуатируемые в странах ЕС были оснащены системами улавливания паров, обеспечивающих полную улавливания от 98 % углеводородов [4].

В странах Европейского союза, США, Канаде и Японии законодательно ограничены выбросы паров углеводородов из резервуаров на уровне 98-99 %. Эксплуатируемые в данных странах резервуары оснащены различными типами установок для улавливания паров углеводородов. Наибольшее распространение, в данных странах, получили следующие технологии улавливания и рекуперации паров [5-8] (рис. 1).

1. Технология углеродно-вакуумной адсорбции (CVA по международной классификации), является самой популярной технологией в мире, благодаря простоте в эксплуатации и эффективности улавливания (рис. 1). Узел улавливания паров состоит из двух одинаковых емкостей, наполненных активированным углем. Каждая емкость может работать в двух режимах: «режим адсорбции» и режим вакуумной регенерации. В емкость, готовую к режиму адсорбции, подают воздушную смесь, насыщенную парами углеводородов. Углеводороды адсорбируются на поверхности активированного угля, а очищенный воздух выбрасывается в атмосферу. После насыщения угля емкость переводится в режим вакуумной регенерации, во время которого насыщенный углеводородный пар выкачивается вакуумными насосами из активированного угля и направляется в абсорбционную колонну, в которой большая часть углеводородов абсорбируется встречным потоком подходящего жидкого абсорбента из резервуарного парка или трубопровода. Присутствующий при этом незначительный объем воздуха, попавший во время воздушной продувки на стадии регенерации, выходит через верхнюю часть абсорбционной колонны, что приводит к уносу незначительной части углеводородов, подлежащих в дальнейшем возврату в угольный адсорбер, находящийся в стадии адсорбции.

Попеременно используя емкости в режимах адсорбции и регенерации, получают систему, работающую непрерывно.

К преимуществам технологии углеродно-вакуумной адсорбции относятся: высокая эффективность и надежность (низкий уровень выбросов, исключая метан); низкое энергопотребление; малые перепады давления; широкие режимы работы.

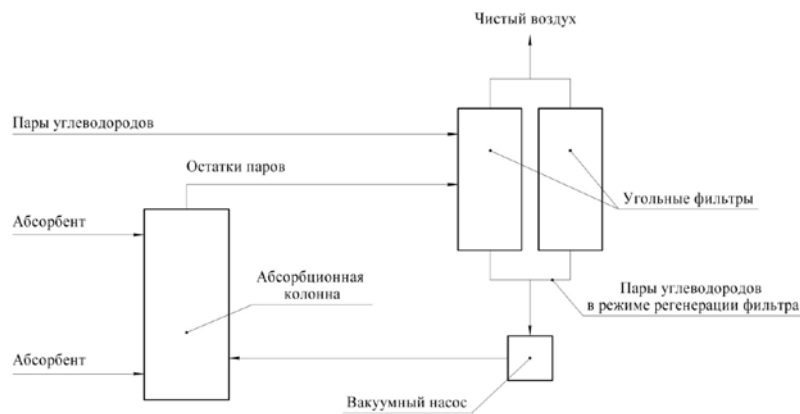


Рис. 1 – Технологическая схема углеродно-вакуумной адсорбции

К недостаткам технологии углеродно-вакуумной адсорбции относятся: неоправданно завышенное соотношение «цена/качество» при высоких концентрациях углеводородов; чувствительность к загрязняющим веществам (сера и т.п.); ограниченный ресурс угольных адсорберов.

2. Углеродно-вакуумное конденсирование под давлением (CVPC по международной классификации). Данная технология представляет собой углеродно-вакуумную адсорбцию (CVA), дополненную узлом циркуляции и компрессии абсорбента внутри установки (рис. 2). Используется в случае отсутствия возможности подачи свежего абсорбента из резервуарного парка.

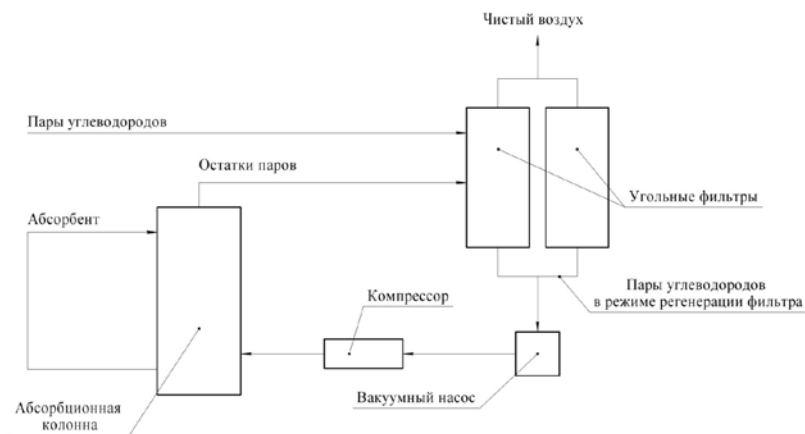


Рис. 2 – Технологическая схема углеродно-вакуумного конденсирования под давлением

К преимуществам технологии углеродно-вакуумного конденсирования под давлением относятся: высокая эффективность и надежность; малые перепады давления; широкие режимы работы; отсутствие необходимости в абсорбенте.

К недостаткам технологии углеродно-вакуумного конденсирования под давлением относятся: ограниченная эффективность при интенсивной подаче паров углеводородов; чувствительность к загрязняющим веществам (сера и т.п.); постоянный контроль жидкого продукта; высокое энергопотребление; ограниченный ресурс угольных адсорберов.

3. Мембранная фильтрация (рис. 3). Данная

технологія широко розповсюджена на невеликих резервуарах (автозаправочні станції і т.д.) і обмежено використовується на нафтобазах, із-за необхідності забезпечення постійного потоку парів на установку, а також низької продуктивності.

При надходженні парів нафтопродукту в установку, відбувається їх компресія, після чого суміш поступає в конденсатор, де відбувається частинна конденсація. Далі суміш перекачується в сепаратор, де відокремлюється від конденсованого продукту, який після сепаратора одразу ж повертається до установки в резервуар зберігання, а залишкова частина паровоздушної суміші проходить через мембрану, яка уловлює більшу частину вуглеводородів. Після проходження мембрани чистий повітря виводиться в атмосферу, а частина паровоздушної суміші в вигляді загущеного пермеату повертається в резервуар, де конденсація відбувається природним шляхом, і абсорбентом є продукт, знаходячись в резервуарах.

К перевагам технології мембранної фільтрації відносять: невелике енергопотреблення; єдиний етап технологічного процесу.

К недолікам технології мембранної фільтрації відносять: необхідність в постійному потоці парів; обмежена пропускна здатність.

Також, для зменшення викидів парів нафтопродуктів із резервуарів застосовують різні організаційно-технічні заходи [9-10]:

окраска резервуарів білими емальми; розміщення резервуарів в ґрунті; водяне зрошення; застосування понтонів і плаваючих кришок, пріоритетніше використовують вертикальні резервуари (для зменшення площі випаровування).

Ціль і завдання дослідження. Об'єкт дослідження – викиди парів нафтопродуктів, що відбуваються внаслідок «великих» і «малих» дихань резервуарів зберігання світлох нафтопродуктів.

Ціль дослідження – оцінка екологічної небезпечності викидів парів нафтопродуктів із резервуарів зберігання світлох нафтопродуктів з метою розробки технічних рішень і рекомендацій, спрямованих на зменшення рівня екологічної небезпечності.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Дослідити причини і фактори, що впливають

на інтенсивність «великих» і «малих» дихань резервуарів зберігання світлох нафтопродуктів;

2. Оцінити екологічну небезпечність «великих» і «малих» дихань резервуарів зберігання світлох нафтопродуктів, визначив концентрації парів палива в атмосферному повітрі;

3. Обґрунтувати організаційно-технічні заходи, спрямовані на зменшення екологічної небезпечності «великих» і «малих» дихань резервуарів зберігання світлох нафтопродуктів.

Результати дослідження екологічної небезпечності «великих» і «малих» дихань резервуарів зберігання світлох нафтопродуктів. Легкі нафтопродукти, наприклад бензин, інтенсивно випаровуються, їх пари насичують газову простору резервуара і поступають в атмосферу при спрацюванні дихального клапана при «малих диханнях» резервуара. Маса парів нафтопродуктів, що поступають в атмосферу *раховується за формулою:*

$$m = w \cdot F_u \cdot T \tag{1}$$

де: w – інтенсивність випаровування, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; F_u – площа випаровування, м^2 ; T – час випаровування, с (приймається 1 год = 3600 с .)

Інтенсивність випаровування рідини визначається за наступною формулою [11, 12]:

$$w_E = 10^{-6} \eta \sqrt{M} \rho_f, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) \tag{2}$$

де: η – коефіцієнт, що враховує рухливість повітря (при відсутності руху повітря $\eta = 1$); M – молярна маса речовини (для бензину середнє вміст вуглецю і водню визначається формулою C_7H_{13} , відповідно $M=97$ $\text{кг}/\text{кмоль}$); ρ_f – тиск насичення бензину, кПа , є характеристикою бензину, що залежить від температури зберігання, приймається із довідкової літератури [13]

або визначається за рівнянням Антуана [14]:

$$\rho_f = 0,133 \cdot 10^{A - B/(C+t)}, \text{ кПа}, \tag{3}$$

де: A, B, C – коефіцієнти Антуана; t – температура зберігання бензину, $^{\circ}\text{C}$.

Площа дзеркала випаровування змінюється в широких межах в залежності від типу резервуара, наприклад, для резервуара РВС-5000 площа дзеркала випаровування становить 320 м^2 , а для вертикальних і горизонтальних заглублених і напівзаглублених резервуарів на АЗС площа дзеркала випаровування становить від 4 до 10 м^2 .

Інтенсивність витіснення парів нафтопродуктів при «малих диханнях» в літній період, отримана з урахування процесів випаровування бензину за формулами (2-3) становить від 0,1 до 0,15 $\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 м^3 об'єму резервуара, при цьому маса парів нафтопродукту, що поступає в атмосферу буде залежати від площі дзеркала випаровування. Наприклад, маса парів нафтопродукту, що поступає при «малому» диханні

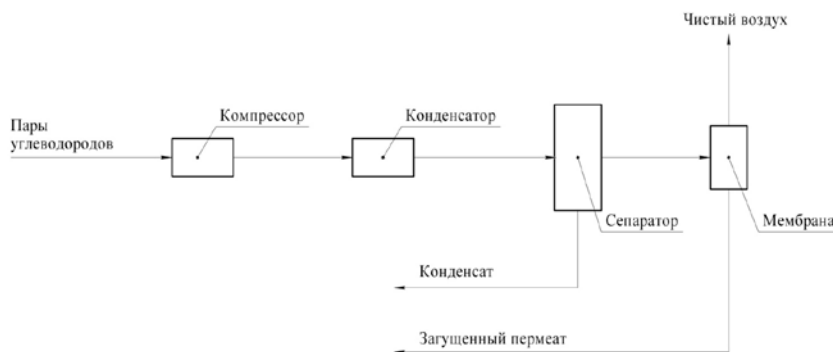


Рис. 3 – Технологічна схема мембранної фільтрації

нии резервуара РВС-5000 в атмосферу составляет от 10 до 32 кг/ч.

«Большие дыхания» происходят при заполнении опорожненного резервуара, когда весь газовый объем резервуара вытесняется через дыхательный клапан в атмосферу. Интенсивность вытеснения паров нефтепродуктов, в основном, зависит от длительности заполнения резервуара, которая определяется производительностью насосов нефтебазы. Длительность заполнения резервуара зависит от его емкости и времени слива-налива бензина. Интенсивность вытеснения паров нефтепродуктов при «больших дыханиях» для резервуаров емкостью от 10 до 40 м³ составляет от 15 до 60 м³/ч., для резервуаров емкостью от 40 м³ от 60 до 100 м³/ч.

С учетом большой интенсивности и сравнительно малого времени «большие дыхания» можно рассматривать как залповые выбросы паров нефтепродуктов, резко повышающие экологическую и пожарную опасности резервуаров.

Объем и масса паров бензина, выбрасываемая при «больших дыханиях» зависит от объема, поступившего в резервуар нефтепродукта и концентрации паров бензина в газовом пространстве в момент «большого дыхания». Для прогнозирования концентрации паров бензина в газовой полости резервуара достаточно оценить минимальные и максимальные ее значения.

По закону Дальтона общее давление в замкнутом газовом объеме резервуара будет суммироваться из парциального давления воздуха (атмосферное давление) и парциального давления паров бензина (давление насыщения). Зная отношение парциального давления паров бензина к общему давлению, можно определить концентрацию паров бензина в газовой смеси в газовой полости резервуара. Данные о давлении насыщения приняты по Н. Б. Варгафтику

[13], а также могут быть получены по уравнению Антуана [14].

Концентрация паров бензина в замкнутой (герметичной) газовой полости резервуара повышается за счет упругости паров и при длительном хранении достигает своего наибольшего значения, при этом в газовой полости устанавливается давление равное (p_н+p_о). В соответствии с законом Дальтона отношение объемов двух газов (воздуха и паров бензина) будет определяться их парциальными давлениями. Парциальное давление паров бензина при этом равно давлению насыщения, а парциальное давление воздуха – атмосферному давлению воздуха. С учетом изложенного, концентрацию паров бензина в газовом объеме можно определить по формуле:

$$c_{п} = 100 p_{н} / (p_{н} + p_{о}), \% \text{ об.}, \quad (4)$$

где: p_н – давление состояния насыщения при температуре хранения, кПа; p_о – атмосферное давление воздуха, кПа (101,3 кПа).

Давление насыщения бензина и концентрация паров бензина в герметичной емкости, полученные для разных температур его хранения, представлены в табл. 1.

Максимальные значения концентрации паров бензина в газовой полости резервуара будут значительно выше табличных значений по причине того, что при постоянном испарении бензина в резервуаре будут многочисленны «малые дыхания» (из дыхательного клапана), при каждом из них будет вытесняться порция более бедной смеси, находящаяся в верхней части газовой полости резервуара. Количество «малых дыханий» летом в дневное время в период между «большими дыханиями» будет измеряться сотнями, а объем каждого выброса будет составлять до 2% объема газовой полости.

Таблица 1 – Давление (кПа) насыщения бензина и концентрация (% об.) паров бензина в зависимости от температуры хранения бензина, устанавливающиеся в газовой полости абсолютно герметичного резервуара

Температура хранения бензина, °С	+30 (лето)	+5 (осень-весна / подземное хранение зимой)	-25(зима)
Давление насыщения бензина, кПа	16,8	5,3	2
Концентрация паров бензина в газовой полости резервуара, % об.	15	5	2

Плотность паров бензина ρ_п может быть определена из закона Авогадро с учетом поправки на температуру хранения:

$$\rho_{п} = \frac{\dot{I} \mu}{V \mu} \cdot \frac{T_0}{T}, \text{ кг/м}^3 \quad (5)$$

где: $\dot{I} \mu = 97$ – молярная среднефракционная масса паров бензина, кг/кмоль; $V \mu = 22,4$ – молярный объем паров бензина, м³/кмоль; T₀ – стандартная температура (273), К; T = (273+t) – температура хранения бензина, К; t – температура хранения, °С.

При 30⁰С плотность бензина равна:

$$\rho_{п} = \frac{M \mu}{V \mu} \cdot \frac{T_0}{T} = \frac{97}{22,4} \cdot \frac{273}{303} = 3,9 \text{ кг/м}^3$$

Масса паров бензина в газовом пространстве резервуара M_Г будет пропорциональна объемной концентрации C_п, объему газового пространства V_п и плотности ρ_п, т. е.:

$$M_{Г} = (\rho_{п} \cdot V_{п} \cdot C_{п}) / 100, \text{ кг} \quad (6)$$

где: V_п – 0,8·V; V – объем резервуара, м³.

Результаты расчетов потерь бензина от одного «большого дыхания» резервуара приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Потери бензина от одного «большого дыхания» резервуаров

Емкость резервуара, м ³	Лето	Весна-осень	Зима
15	9-16	2,5-7,4	1,1-6,7
20	12-21	3,3-10	1,5-8,9
30	18-32	4,9-15	2,2-13
40	24-42	6,6-20	3,0-18
5000	3020-5290	820-2470	370-2220

Для определения границ зоны загазованности в открытом воздушном пространстве при неподвижной воздушной среде с концентрацией, соответствующей нижнему концентрационному пределу распространения пламени, предложена следующая формула [15]:

$$R = 3,2 \cdot K^{1/2} \cdot (p_H/c_{НКПР})^{0,8} \cdot (m_{П} / (\rho_{П} \cdot \rho_H))^{0,33} \quad (5)$$

где: R – радиус зоны загазованности, м; m_П – масса поступивших при дыхании паров бензина, кг; ρ_П – плотность паров бензина, кг/м³; ρ_Н – давление насыщенных паров бензина при расчетной температуре, кПа; c_{НКПР} – нижний концентрационный предел распространения пламени, % об. (для паров бензина c_{НКПР} = 0,75% об.); K – коэффициент (K = T/3600); T – продолжительность поступления паров в открытое пространство, с.

Расчет по предложенной в формуле 5 показал, что для резервуара автозаправочной станции, емкостью 50 м³, заправка которого проходит 1800 с, радиус распространения паров бензина при безветрии составит:

$$R_{НКПР} = 3,2 (1800/3600)^{1/2} \cdot (16,8/0,75)^{0,8} \cdot (50/(4 \cdot 16,7))^{0,33} \approx 25 \text{ м.}$$

Радиус распространения паров бензина, при аналогичных условиях, для резервуара РВС-5000 составит:

$$R_{НКПР} = 3,2 (1800/3600)^{1/2} \cdot (16,8/0,75)^{0,8} \cdot (5000/(4 \cdot 16,7))^{0,33} \approx 2000 \text{ м.}$$

Для проверки адекватности формулы 5 и натурной оценки экологической опасности «большого дыхания» резервуаров был проведен натурный эксперимент при сливо-наливных операциях на двух резервуарах РВС-5000 объемом 5000 м³. Эксперимент проводился в светлое время суток при отсутствии грозовых и предгрозовых метеоусловий, температура наружного воздуха находилась в пределах 20-27 °С. Концентрация паров нефтепродуктов в приземном слое атмосферы измерялась при помощи газоанализатора «ГАНК-4». Принцип действия данного газоанализатора со встроенными датчиками основан на электрохимическом, термодаталитическом и полупроводниковом методах измерений.

Для оценки концентраций паров нефтепродуктов в приземном слое атмосферы, прилегающую к резервуару территорию, находящуюся в пределах каре резервуара, условно разбили на плоскости сечения (рис. 4).

Измерения проводили в 30 метровой зоне от резервуаров, при заполнении первого резервуара бензином АИ-92 и заполнении второго резервуара ди-

зельным топливом. Средние значения концентрации паров топлив представлены на рисунке 5, где также показаны предельно допустимые концентрации содержания в воздухе паров авиационных топлив, дизельного топлива и бензина АИ-92 действующие в Украине и США.

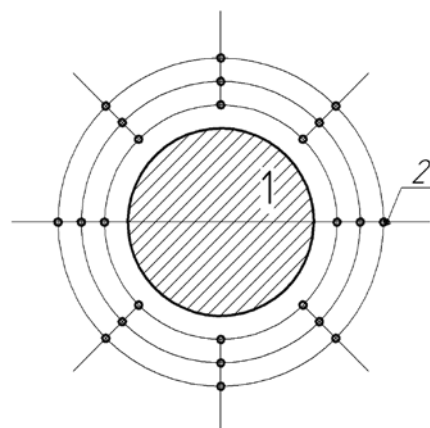


Рис. 4 – Точки измерения концентраций паров нефтепродуктов и плоскости сечений представлены

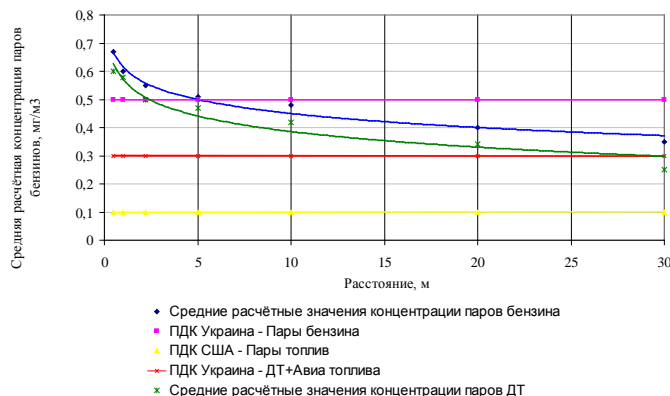


Рис. 5 – Усреднённые значения концентрации паров топлив при «большом» дыхании резервуара РВС-5000

5. Обсуждение результатов исследования экологической опасности выбросов из резервуаров паров светлых нефтепродуктов. При совершенствовании действующих в Украине правил и регламентов технической эксплуатации резервуаров хранения нефтепродуктов в соответствии с общеевропейскими и мировыми стандартами необходимо учитывать экологическую опасность и экономический ущерб от выбросов паров нефтепродуктов из дыхательной арматуры резервуаров. Результаты расчетов и натурального эксперимента показывают экологическую и пожарную опасность выбросов паров нефтепродуктов из ре-

зервуаров, например, при «большом» дыхании резервуара РВС-5000 в его 5 метровой зоне концентрации паров бензина и дизельного топлива превышают допустимые значения, при этом высокие концентрации паров сохраняются на расстоянии до 30 метров. Пары бензина тяжелее воздуха, поэтому, при слабом ветре возможно сосредоточение паров нефтепродуктов в низинах, технологических колодцах и зоне каре резервуара [16].

Для снижения выбросов паров нефтепродуктов из резервуаров хранения, наиболее экономически и технологически обоснованным решением является использование систем улавливания паров сорбционного типа (адсорбция, абсорбция) с последующей рекуперации уловленных паров. Да крупных нефтебаз целесообразно применять стационарные системы углеродно-вакуумной адсорбции совместно с газоуравнительной системой, также возможно использование мягких резервуаров-газгольдеров. На мелких резервуарах целесообразно использовать сменные фильтра адсорбционного типа, устанавливаемые на дыхательную арматуру резервуара, регенерация которых осуществляется на стационарной установке рекуперации паров нефтепродуктов крупной нефтебазы.

6. Выводы

1. Рассмотрены механизмы поступления в атмосферный воздух паров нефтепродуктов при эксплуатации резервуаров, а также проведен анализ современных систем улавливания данных паров;

2. Установлено, что при «большом» дыхании резервуаров при наиболее неблагоприятных погодных условиях радиус распространения паров бензина для резервуара объемом 50 м³ и 5000 м³ составляют 25 м. и 2000 м. соответственно;

3. Результаты натурального эксперимента показывают что при «большом» дыхании резервуаров РВС-5000 в их 5 метровой зоне, концентрации паров бензина и дизельного топлива превышают допустимые значения, при этом высокие концентрации паров топлива сохраняются на расстоянии до 30 метров;

4. Для повышения экологической безопасности эксплуатации резервуаров хранения нефтепродуктов, обоснована необходимость применения фильтрующих систем, устанавливаемых на дыхательную арматуру резервуаров.

Список литературы: 1. Статистический ежегодник «Украина в цифрах» [Текст]. – Государственный комитет статистики Украины. – Изд. офиц. – К., 2014. – 600 с. 2. Ларионов, В. И. Оценка и обеспечение безопасности объектов хранения и транспортировки углеводородного сырья [Текст] / В. И. Ларионов. – СПб.: ООО «Недра», 2004. – 190 с. 3. Бесчастнов, М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение [Текст] / М. В. Бесчастнов. – М.: Химия, 1991. – 430 с. 4. EU (1994). European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (VOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations [Text] // Official Journal. – 1994. – L. 365. 5. Выбор технических средств для сокращения потерь нефтепродуктов от испарения из резервуаров и транспортных емкостей [Текст]: методическое пособие / И. С. Бронштейн, В. Ф. Вохмин, В. Е. Губин, П. П. Ривкин. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1969. –

182 с. 6. European Commission (2006). Integrated Pollution Prevention and Control Best Available Techniques on Emissions from Storage, July 2006. 7. AEAT (2001). Measures to reduce emissions of VOCs during loading and unloading of ships in the EU [Text] // Report No AEAT/ENV/R/0469. – Is. 2. – AEA Technology, Abingdon, 2001. 8. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Environmental Code of Practice for Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. Prepared by the National Task Force on Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks [Text] // CCME. – Canada, 1991. 9. Yinchang, Li. Experimental study on inert replacement ventilation of oil vapor in oil tank [Text] / Li. Yinchang, Du. Yang, Zhang Peili // Department of Petroleum Supply Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 401311. – China, 2012. – Vol. 45. – P. 546–551. 10. Robinson, M. Recommendations for the design of push-pull ventilation systems for open surface tanks [Text] / M. Robinson, D. B. Ingham // The Annals of Occupational Hygiene. – 1996. – Vol. 6. – P. 693–704. 11. Глинка, Н. Л. Общая химия [Текст]: учебное пособие / Н. Л. Глинка; под ред. А. И. Ермакова. – М.: Интеграл-Пресс, 2002. – 728 с. 12. Сборник нормативных документов, регламентирующих нормы и правила пожарной безопасности. – М.: Альфа-ПРЕСС, 2003. – 545 с. (с. 439): Пособие по применению НПБ 105-95. «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности». 13. Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплотехническим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н. Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с. 14. Справочник. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: в 2-х книгах [Текст] / под ред. А. Н. Баратова. – М.: Химия, 1990. – Кн. 1. – 496 с. – Кн. 2. – 384 с. 15. СНиП 2.11.03-93. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы. 16. Бесчастнов, М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение [Текст] / М. В. Бесчастнов. – М.: Химия, 1991. – 432 с.

Bibliography (transliterated): 1. Statisticheskij ezhegodnik «Ukraina v cifrah». (2014). Gosudarstvennyj komitet statistiki Ukrainy. Izd. ofic. Kiev, 600. 2. Larijonov, V. I. (2004). Ocenka i obespechenie bezopasnosti ob'ektov hranenija i transportirovki uglevodородного syr'ja. SPB.:ООО «Недра», 190. 3. Beschastnov, M. V. (1991). Promyshlennye vzryvy. Ocenka i preduprezhdenie. Moscow: Himija, 430. 4. EU (1994). European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (VOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations. (1994). Official Journal, 365. 5. Bronshtejn, I. S., Vohmin, V. F., Gubin, V. E., Rivkin, P. R. (1969). Vybory tehnikeskikh sredstv dlja sokrashhenija poter' nefteproduktov ot isparenija iz rezervuarov i transportnyh emkostej. Moscow: CNIIITJeneftehim, 182. 6. European Commission (2006). Integrated Pollution Prevention and Control Best Available Techniques on Emissions from Storage. 7. AEAT (2001). Measures to reduce emissions of VOCs during loading and unloading of ships in the EU. Report No AEAT/ENV/R/0469, Is. 2. AEA Technology, Abingdon. 8. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Environmental Code of Practice for Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. Prepared by the National Task Force on Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. (1991). CCME. Canada. 9. Yinchang, Li., Yang, Du., Zhang Peili. (2012). Experimental study on inert replacement ventilation of oil vapor in oil tank. Department of Petroleum Supply Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 401311, Vol. 45. China, 546–551. 10. Robinson, M., Ingham, D. B. (1996). Recommendations for the design of push-pull ventilation systems for open surface tanks. *The Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 6, 693–704. 11. Glinka, N. L.; in Ermakova, A. I. (2002). Obshhaja himija. Moscow: Integral-Press, 728. 12. Sbornik normativnyh dokumentov, reglamentirujushih normy i pravila požarnoj bezopasnosti. (2003). Moscow: Alfa-PRESS, 545, (439): Posobie po primeneniju NPB 105-95. «Opredelenie kategorij pomeshhenij i zdanij po vzryvopozharnoj i požarnoj opasnosti». 13. Vargaftik, N. B. (1972). Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej. Moscow: Nauka, 720. 14. In Baratova, A. N. (1990). Spravochnik. Pozharovzryvopasnost' veshhestv i materialov i sredstva ih tushenija: v 2-h knigah, kn.1, 496, kn.2, 384. Moscow: Himija. 15. SNiP 2.11.03-93. Sklady nefiti i nefteproduktov. Protivopozharnye normy. 16. Beschastnov, M. V. (1991). Promyshlennye vzryvy. Ocenka i preduprezhdenie. Moscow: Himija, 432.

Поступила (received) 06.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гарбуз Сергій Вікторович – ад'юнкт, Національний університет цивільного захисту України, ад'юнкт кафедри «Пожежної та техногенної безпеки об'єктів і технологій»; вул. Чернишевського 94, м. Харків, 61023;

Гарбуз Сергей Викторович – ад'юнкт, Национальный университет гражданской защиты Украины, ад'юнкт кафедри «Кафедра пожарной и техногенной безопасности объектов и технологий»; ул. Чернышевского 94, г. Харьков, 61023; e-mail: garbuz_88@inbox.ru.

Garbuz Sergey – graduate student, National university of civil protection of Ukraine, graduate student of chair «Fire and technological safety of facilities and technology, st. Chernyshevsky 94, Kharkov, 61023;

Ковалёв Александр Александрович – кандидат технических наук, Национальный университет гражданской защиты Украины, доцент кафедри «Инженерной и аварийно-спасательной техники»; ул. Чернышевского 94, г. Харьков, 61023; e-mail: mralexkovalev@gmail.com.

Ковалёв Александр Александрович – кандидат технічних наук, Національний університет цивільного захисту України, доцент кафедри «Инженерной та аварийно-реставрационной техники»; вул. Чернышевского 94, м. Харьков, 61023; e-mail: mralexkovalev@gmail.com.

Kovalev Alexander – Candidate of technical sciences, National university of civil protection of Ukraine, associate professor of chair «Engineering and rescue equipment»; st. Chernyshevsky 94, Kharkov, 61023;

Титаренко Андрій Вікторович – кандидат психологічних наук, Національний університет цивільного захисту України, заступник начальника факультету оперативно-рятувальних сил; вул. Чернышевского 94, м. Харьков, 61023; e-mail: mralexkovalev@gmail.com.

Титаренко Андрей Викторович – кандидат психологических наук, Национальный университет гражданской защиты Украины, заместитель начальника факультета оперативно-спасательных сил; ул. Чернышевского 94, г. Харьков, 61023; e-mail: mralexkovalev@gmail.com.

Titarenko Andrey – Candidate of psychological science, National university of civil protection of Ukraine, deputy head of the faculty of Operational and rescue forces; st. Chernyshevsky 94, Kharkov, 61023

УДК 004.03:65-574.5

В. І. РУЖЕНЦЕВ, А. П. ПОРВАН, М. А. ПАЩЕНКО

ОРГАНІЗАЦІЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ВИЗНАЧЕННЯ ОСЕРЕДКІВ ТОКСИЧНОСТІ БІОБ'ЄКТІВ

Робота присвячена організації захисту інформації в інформаційній системі визначення осередків токсичності водних біоб'єктів для унеможливлення несанкціонованого доступу до даних, що зберігаються в базі даних. Розглянуто основні методи захисту інформації та способи їх реалізації у відомих системах екологічного дистанційного моніторингу. Проаналізовано та обрано, що для забезпечення захисту від несанкціонованого доступу до бази даних, де зберігається вся інформація системи, з інших програмних продуктів та для обміну даними в зашифрованому вигляді використовується AES.

Ключові слова: база даних, водна екосистема, захист інформації, інформаційна система, симетричний алгоритм блочного шифрування.

Вступ. Виявлення та оцінка в короткі терміни екологічного ризику, як найбільш важливого показника при прийнятті рішень, що стосуються охорони навколишнього середовища та екологічної безпеки регіону, в силу своєї інформаційної ємності вимагає застосування спеціальних комп'ютерних рішень. Сучасні темпи розвитку систем екологічного моніторингу багато в чому зумовлюють їх зміст. У свою чергу зберігання інформації, що постійно надходить до таких систем, не може проводитися без такої складової, як захист інформації. А застосування автоматизованих методів і засобів своєчасного виявлення осередків токсичності часто пов'язано з отриманням і обробкою безлічі різних параметрів, які потребують захисту під час роботи. Причому ця проблема є досить складною у зв'язку з великою кількістю наявних параметрів, що відрізняються за видом, структурою і інформативністю, які представлені у системі.

Постановка проблеми та аналіз останніх джерел і публікацій. При розробці інформаційної системи (ІС) визначення осередків токсичності водних об'єктів було виділено такі можливі загрози із зовні, як зміна та вилучення даних, що зберігаються в БД, порушення конфіденційності та викрадення даних при передачі їх на ПК.

Для захисту даних використовують криптографію, яка забезпечує не тільки таємність інформації, що зберігається, але і її справжність [1, 2]. Секретність підтримується шляхом шифрування окремих повідомлень або всього файлу цілком. Справжність інформації підтверджується шляхом шифрування спеціальним шифром, що містить всю інформацію, який перевіряється одержувачем для підтвердження особи автора. Він не тільки засвідчує походження інформації, але і гарантує її незмінність.

Навіть просте перетворення інформації є досить ефективним засобом, що дає можливість приховати її суть від більшості некваліфікованих порушників.

Криптографія на сьогодні є єдиним відомим способом забезпечення таємності і підтвердження достовірності інформації в системах екологічного моніторингу, переданої із супутників [3]. Природа стандарту шифрування даних така, що його алгоритм є загальнодоступним, секретним повинен бути тільки ключ. Причому однакові ключі повинні використовуватися і для шифрування, і для дешифрування інформації.

© В. І. Руженцев, А. П. Порван, М. А. Пащенко. 2015

При наявності простих засобів зберігання і передачі інформації в інформаційних екологічних системах існували і не втратили значення до теперішнього часу такі методи її захисту від навмисного несанкціонованого доступу як обмеження доступу, розмежування доступу, криптографічне перетворення інформації, контроль і облік доступу; законодавчі заходи.

Зазначені методи здійснюються тільки організаційно або за допомогою технічних засобів [4, 5].

З появою автоматизованої обробки інформації в ІС змінився і доповнився новими видами фізичний носій інформації та ускладнилися технічні засоби її обробки.

З ускладненням обробки, збільшенням кількості технічних засобів, що беруть участь в ній, збільшуються кількість і види випадкових впливів, а також можливі канали несанкціонованого доступу. Зі збільшенням обсягів, зосередженням інформації, збільшенням кількості користувачів та іншими зазначеними вище причинами збільшується ймовірність навмисного несанкціонованого доступу до суті інформації. У зв'язку з цим розвиваються старі і виникають нові додаткові методи захисту в інформаційних системах, у тому числі екологічних [6, 7].

При цьому правила здійснення контролю доступу до даних є єдиними існуючими методами для досягнення розглянутих вище вимог щодо індивідуальної ідентифікації.

Найкращою політикою управління доступом є політика "мінімально необхідних привілеїв" [1]. Іншими словами, користувач має доступ тільки до тієї інформації, яка необхідна йому в роботі.

Захист результатів екологічного моніторингу за допомогою шифрування - одне з можливих ефективних рішень проблеми їхньої безпеки. Зашифровані дані стають доступними тільки для того, хто знає, як їх розшифрувати.

Існуючі принципи шифрування полягають в шифруванні тексту за допомогою ключа [8-10]. У традиційних алгоритмах шифрування для кодування і декодування використовувався один і той же ключ, хоча у нових системах з відкритим ключем або асиметричного шифрування ключі парні: один використовується для кодування, інший - для декодування інформації. У такому поєднанні кожен користувач володіє унікальною парою ключів. При реалізації такого алгоритму один користувач, якому потрібно надіслати повідомлення іншому, може зашифрувати повідомлення відкритим ключем останнього. Розшифрувати його зможе тільки власник особистого секретного ключа, тому небезпека перехоплення виключена.

Практичне використання захисного шифрування в системах дистанційного моніторингу поєднує традиційні симетричні і нові асиметричні схеми [11]. Шифрування відкритим ключем застосовується для угодження секретного симетричного ключа, який потім використовується для шифрування реальних даних. Шифрування забезпечує найвищий рівень безпеки даних. Як в апаратному, так і в програмному забезпеченні застосовуються різні алгоритми шифрування.

Таким чином, організація захисту інформації (ЗІ) в системах дистанційного екологічного моніторингу є

актуальним практичним завданням.

Специфіка галузі вимагає вирішення ряду завдань при використанні екологічних ІС. На ринку присутні готові рішення, що використовують для зберігання як картографічних даних до файлової системи, так і результатів моніторингу.

Розглянемо деякі відомі приклади реалізації основних методів ЗІ в ІС екологічного моніторингу.

Існуюча система "Secret Net" заміняє стандартний механізм операційної системи по авторизації користувачів і дозволяє проводити аутентифікацію як за паролем, так і з використанням апаратних засобів посиленої аутентифікації і стандартних сертифікатів. Можливо комбінування способів аутентифікації для досягнення двухфакторної (багатофакторної) аутентифікації. Парольна інформація захищена від перехоплення як при локальному введенні (маскування символів, що вводяться шляхом заміни на «*»), так і при мережевий передачі [12].

Програмні продукти "Код Безпеки" призначені для застосування в складних сучасних ГЕО ІС, де реалізовані можливості інтеграції з корпоративними каталогами користувачів, використовуваної інфраструктурою відкритих ключів, впровадженими системами управління мережею, SIEM-рішеннями і т.п. [13].

Також ЗІ може бути побудований з використанням вузькоспеціалізованих систем ЗІ, що закривають одну або декілька заходів, або з використанням комплексних засобів типу "DallasLock", "Акорд" та подібних їм [14].

Система "Лінтер" призначена для забезпечення максимального захисту та дозволяє проводити авторизацію користувачів, має ядро безпеки, ієрархію прав доступу, мандатний захист, контроль доступу з віддалених станцій, проводить протоколювання роботи та контроль за зберіганням інформації [15].

Відома система "GIS 6 Secure" дозволяє захист доступу до бази даних "ГІС 6" із зовнішніх програмних продуктів. Програма "GIS 6 Secure" виконує роль проміжної ланки між локальним Клієнтом "ГІС 6" і Сервером бази даних, який обробляє запити користувача в зашифрованому вигляді, звіряє ім'я та пароль з параметрами зовнішнього доступу і після успішного проходження перевірки, дозволяє підключитися безпосередньо до самої бази даних [16].

Основним недоліком розглянутих систем є складність, а часом і неможливість їх інтеграції з комплексами автоматизованої системи управління, в тому числі інтегрувати до розроблених рішень. Якщо довірити зберігання і обробку даних екологічних ІС у реляційних базах даних, які є складовою цих систем, проблема такої інтеграції просто зникає. При цьому зменшується число використовуваних автономних систем, а отже, спрощується адміністрування і управління всім процесом визначення осередків токсичності водних біооб'єктів.

Відомими методами блочних шифрів є шифр ТЕА (один із самих простих в реалізації), мережа Фейштеля (метод оборотних перетворень тексту, при якому значення, обчислені від однієї з частин тексту, накладається на інші частини) та стандарт AES [17].

Розглянуті приклади захисту інформації, як правило, спеціалізовані і володіють більшою захи-

ценістю і функціональністю. Однак ці системи захисту, побудовані на різновиду, нехай навіть брендових, систем захисту інформації, що створить масу проблем при їх експлуатації.

Мета роботи. Метою роботи є розробка заходів з організації ЗІ для системи визначення осередків токсичності водних біооб'єктів. Для забезпечення захисту в розроблюваній системі пропонується використовувати симетричний алгоритм блочного шифрування (AES).

Організація захисту інформації в системі визначення осередків токсичності біооб'єктів. ІС включає в себе біологічну та технічну підсистеми

(рис. 1). Біологічною підсистемою є водна екосистема водоймища або водотік, що їхній стан тестується, та еколог. Технічна підсистема складається із наступних елементів: блока модуля реєстрації інформації – безпілотний літаючий апарат, який розкидає зонди (наземні реєструючі блоки), пристрої контролю, та отримує з них інформацію, модуля обробки інформації, БД, блока аналізу інформації, блока формування звіту та блока виводу інформації. Для захисту від несанкціонованого доступу до бази даних з інших програмних продуктів використаємо симетричний алгоритм блочного шифрування (AES).

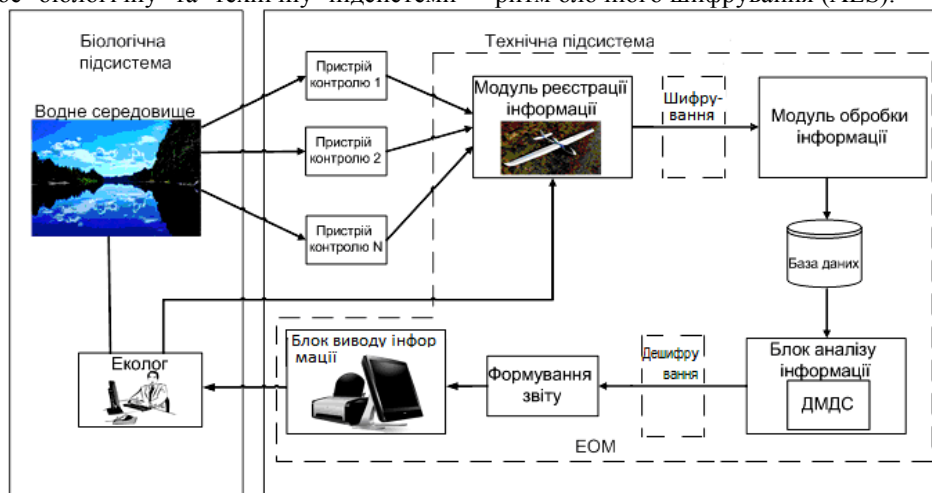


Рис. 1 – Структурна схема інформаційної системи

AES є стандартом, заснованим на алгоритмі Rijndael. Для AES довжина input (блоку вхідних даних) і State (стану) постійна і дорівнює 128 біт, а довжина шифроключа К становить 128, 192, або 256 біт. При цьому, вихідний алгоритм Rijndael допускає довжину ключа і розмір блоку від 128 до 256 біт з кроком в 32 біта. Для позначення обраних довжин input, State і Cipher Key в 32-бітових словах використовується нотація $Nb = 4$ для input і State, $Nk = 4, 6, 8$ для Cipher Key відповідно для різних довжин ключів.

На початку шифрування input копіюється в масив State за правилом:

$$state[r,c] = input[r+4c], \text{ для } 0 \leq r < 4 \text{ і } 0 \leq c < Nb.$$

Після цього до State застосовується процедура AddRoundKey() і потім State проходить через процедуру трансформації (раунд) 10, 12, або 14 разів (в залежності від довжини ключа), при цьому треба врахувати, що останній раунд дещо відрізняється від попередніх. У підсумку, після завершення останнього раунду трансформації, State копіюється в output за правилом:

$$output[r+4c] = state[r,c], \text{ для } 0 \leq r < 4 \text{ і } 0 \leq c < Nb.$$

Окремі трансформації SubBytes(), ShiftRows(), MixColumns(), і AddRoundKey() - обробляють State. Масив w[] - містить key schedule.

У процедурі SubBytes, кожен байт в state замінюється відповідним елементом у фіксованій 8-бітній таблиці пошуку (1), $S; b_{ij} = S(a_{ij})$.

$$\begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \\ b_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \\ b_7 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Процедура SubBytes() обробляє кожен байт стану, незалежно виробляють лінійну заміну байтів використовуючи таблицю замін (S-box). Така операція забезпечує лінійність алгоритму шифрування. Побудова S-box складається з двох кроків. По-перше, проводиться взяття зворотного числа в полі Галуа $GF(2^8)$. По-друге, до кожного байта b з яких складається S-box застосовується наступна операція:

$$b'_i = b_i \oplus b_{(i+4) \bmod 8} \oplus b_{(i+5) \bmod 8} \oplus b_{(i+6) \bmod 8} \oplus b_{(i+7) \bmod 8} \oplus c_i$$

де $0 \leq i < 8$, b_i є i -ий біт b , а c_i - i -ий біт константи $c = 6316 = 99_{10} = 01100011_2$. Таким чином, забезпечується захист від атак, заснованих на простих алгебраїчних властивостях.

У процедурі ShiftRows, байти в кожному рядку state циклічно зсуваються вліво. Розмір зміщення байтів кожного рядка залежить від її номера. ShiftRows працює з рядками State. При цій транс-

формації рядка стану циклічно зсуваються на g байт по горизонталі, залежно від номера рядка. Для нульового рядка $r = 0$, для першого рядка $r = 1b$ і т. д. Таким чином кожна колонка вихідного стану після застосування процедури ShiftRows складається з байтів з кожної колонки початкового стану.

У процедурі MixColumns, кожна колонка стану перемножується з фіксованим многочленом $c(x)$.

У процедурі MixColumns, чотири байти кожної колонки State змішуються, використовуючи для цього оборотну лінійну трансформацію. MixColumns обробляє стан по колонках, трактуючи кожен з них як поліном четвертого ступеня. Над цими поліномами виробляється множення в $GF(2^8)$ по модулю x^4+1 на фіксований многочлен $c(x) = x^3+x^2+x+2$. Разом з ShiftRows, MixColumns вносить дифузію в шифр.

У процедурі AddRoundKey, кожен байт стану об'єднується з RoundKey використовуючи операцію XOR (\oplus).

У процедурі AddRoundKey, RoundKey кожного раунду об'єднується зі State. Для кожного раунду Round Key виходить з CipherKey використовуючи процедуру KeyExpansion; кожен RoundKey такого ж розміру, що й State. Процедура виробляє побітовий XOR кожного байту State з кожним байтом RoundKey.

Для обробки ключа необхідно провести такі дві процедури: алгоритм розширення ключа та алгоритм вибору раундового ключа (ключа ітерації).

Алгоритм розширення ключа. AES алгоритм, використовуючи процедуру Key Expansion () і подаючи до неї Cipher Key, K , отримує ключі для всіх раундів. Всього виходить $Nb * (Nr + 1)$ слів: спочатку для алгоритму потрібно набір з Nb слів, і кожному з Nr раундів вимагається Nb ключових набору даних. Отриманий масив ключів для раундів позначається як $w[i]$, $0 \leq i < Nb * (Nr + 1)$.

Алгоритм KeyExpansion(). Функція SubWord() бере чотирьохбайтове вхідне слово і застосовує S-box до кожного з чотирьох байтів. Те, що вийшло, подається на вихід. На вхід RotWord () подається слово $[a_0, a_1, a_2, a_3]$ яке вона циклічно переставляє і повертає $[a_1, a_2, a_3, a_0]$. Масив слів, постійний для даного раунду, $R_{con[i]}$ містить значення $[x^{i-1}, 00, 00, 00]$, де $x = \{02\}$, а x^i є ступенем x в $GF(2^8)$ (i починається з 1).

Перші Nk слів розширеного ключа заповнені Cipher Key. У кожне наступне слово, $w[i]$, кладеться значення отримане при операції XOR $w[i-1]$, і $w[i-Nk]$, ті XOR'a попереднього і на Nk позицій раніше слів. Для слів, позиція яких кратна Nk , перед XOR'ом до $w[i-1]$ застосовується трансформація, за якою слідує XOR з константою раунду $Rcon[i]$. Зазначена вище трансформація складається з циклічного зсуву байтів в слові (RotWord ()), за якою слідує процедура SubWord () - те ж саме, що і SubBytes (), тільки вхідні і вихідні дані будуть розміром в слово.

Важливо зауважити, що процедура KeyExpansion () для 256 бітного Cipher Key трохи відрізняється від тих, які застосовуються для 128 і 192 бітних шифроключей. Якщо $Nk=8$ і $i-4$ кратно Nk , то SubWord () застосовується і для $w[i-1]$, і для XOR'a.

Алгоритм вибору раундового ключа. На кожній ітерації раундовий ключ для i операції AddRoundKey

вибирається з масиву $w[i]$ починаючи з елемента $w[Nb*i]$ до $w[Nb*i+1]$.

Висновки. Таким чином, проведений аналіз сучасних тенденцій в організації ЗІ в ІС екологічного моніторингу відображає, що системи піддаються таким видам загроз як несанкціонований доступ до інформації, що зберігається в базах даних, та атаки при обміні даних, які надходять від пристрою, що реєструє спектральні зміни досліджуваного об'єкту.

В якості найбільш ефективного алгоритму ЗІ було обрано симетричний алгоритм блочного шифрування. Застосування цього алгоритму дозволило за рахунок його байт-орієнтованої структури досягти необхідної та достатньої швидкодії виконання операцій шифрування на різних програмних платформах при досить великому обсязі різномірної інформації та забезпечити конфіденційність важливої інформації на усіх етапах визначення осередків токсичності біооб'єктів

Список літератури:1. Симмонс, Г. Д. Обзор методов аутентификации информации [Текст] / Г. Д. Симмонс. – ТИИЭР. – 2008. – Т. 76, No 5.2. Уолкер, Б. Дж. Безопасность ЭВМ и организация их защиты [Текст] / Б. Дж. Уолкер, Я. Ф. Блейк. – М.: Связь, 2000.3. Хоффман, Л. Современные методы защиты информации [Текст] / Л. Хоффман. – М.: «Советское радио», 2007.4. Жидких, А. Д. Теоретические основы компьютерной безопасности [Текст] / А. Д. Жидких // Журн. «Обучающая система». – 2011. – No 1. – С. 185-186.5. Грушо, А. А. Теоретические основы защиты информации [Текст] / А. А. Грушо, Е. Е. Тимонина. – М.: Издательство Агентства «Яхтсмен», 1996.6. Варфоломеев, А. А. Методы криптографии и их применение в банковских технологиях [Текст] / А. А. Варфоломеев, М. Б. Пеленицын. – М.: МИФИ, 2006.7. Винокуров, А. Криптография [Текст] / А. Винокуров // Журн. «INFUSED BYTES». – 2009.8. Винокуров, А. Ю. Еще раз про ГОСТ [Текст] / А. Ю. Винокуров. – М.: Монитор. – 2005. – 45 с.9. Баричев, С. Криптография без секретов [Текст] / С. Баричев. – М.: Москва. – 2008.10. Варфоломеев, А. А. Управление ключами в системах криптографической защиты банковской информации [Текст] / А. А. Варфоломеев, О. С. Домнина, М. Б. Пеленицын. – М.: МИФИ, 2006.11. Березин, Б. В. Цифровая подпись на основе традиционной криптографии [Текст] / Б. В. Березин, П. В. Дорошкевич. – М.: МП "Ирбис-П", 2002.12. Защита информации от несанкционированного доступа согласно требованиям ФСТЭК России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www / URL: http://www.pcweek.ru/security/article/detail.php?ID=169230](http://www.pcweek.ru/security/article/detail.php?ID=169230) – загл. з екрану.13. Код Безопасности. Продукты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www / URL: http://www.securitycode.ru/products/](http://www.securitycode.ru/products/) – загл. з екрану.14. Кратко о выборе сертифицированных СЗИ от НСД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www / URL: \http://www.altx-soft.ru/articles/show-1.htm – загл. з екрану.15. Автоматизация нефтегазовых предприятий на базе СУБД ЛИНТЕР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www / URL: http://linter.ru/ru/press-center/detail/27/1578/](http://linter.ru/ru/press-center/detail/27/1578/) – загл. з екрану.16. GIS 6 Secure Геодезическая информационная система [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www / URL: http://www.shels.ru/download/gis6_secure_rus.pdf](http://www.shels.ru/download/gis6_secure_rus.pdf) – загл. з екрану.17. Блочные шифры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www / URL: http://citforum.ru/internet/infsecure/its2000_16.shtml](http://citforum.ru/internet/infsecure/its2000_16.shtml) – загл. з екрану.18. Баричев, С. Г. Стандарт AES. Алгоритм Rijndael [Текст] / С. Г. Баричев, В. В. Гончаров, П. Е. Серов. – М.: Телеком, 2002. – С. 30–35.

Bibliography (transliterated):1. Simmons, G. D. (2008). Obzor metodov autentifikatsii informatsii. TIIEP, 76, No 5.2. Uolker, B. Dzh. (2000). Bezopasnost' EVM i organizatsiya ikh zashchity. Moscow: Svyaz'3. Khoffman, L. (2007). Sovremennyye metody zashchity informatsii. Moscow: «Sovetskoye radio».4. Zhidkikh, A. D. (2011). Teoreticheskiye osnovy komp'yuternoy bezopasnosti. Zhurn. «Obuchayushchaya sistema», No 1, 185–186.5. Grusho, A. A., Timonina, Y. Y. (1996). Teoreticheskiye osnovy zashchity informatsii. Moscow: Izdatel'stvo Agentstva «Yakhtsmen».6. Varfolomeyev, A. A., Pelenitsyn, M. B. (2006). Metody kriptografii i ikh primeneniye v bankovskikh tekhnologiyakh. Moscow: MIFI.7. Vinokurov, A. (2009). Kriptografiya.

Zhurn. «INFUSED BYTES».8. Vinokurov, A. Y. (2005). Yeshche raz pro GOST. Moscow: Monitor, 45.9. Barichev, S. (2008). Kriptografiya bez sekretov. Moscow: Moskva.10. Varfolomeyev, A. A., Domnina, O. S., Pelenitsyn, M. B. (2006). Upravleniye klyuchami v sistemakh kriptograficheskoy zashchity bankovskoy informatsii. Moscow.11. Berezin, B. V., Doroshkevich, P. V. (2002). Tsifrovaya podpis' na osnove traditsionnoy kriptografii. Moscow: MP "Irbis II".12. Zashchita informatsii ot nesanktsionirovannogo dostupa soglasno trebovaniyam FSTEK Rossii. Available at: <http://www.pcweek.ru/security/article/detail.php?ID=169230> – zagl. z yekranu.13. Kod Bezopasnosti. Produkty. Available at:

<http://www.securitycode.ru/products/> – zagl. z yekranu.14. Kratko o vybore sertifitsirovannykh SZI ot NSD. Available at: <http://www.altxsoft.ru/articles/show-1.htm> – zagl. z yekranu.15. Avtomatizatsiya neftegazovykh predpriyatiy na baze SUBD LINTER. Available at: [www / URL: <https://linter.ru/ru/press-center/detail/27/1578/>](http://www.linter.ru/ru/press-center/detail/27/1578/) – zagl. z yekranu.16. GIS 6 Secure Geodezicheskaya informatsionnaya sistema. Available at: http://www.shels.ru/download/gis6_secure_rus.pdf – zagl. z yekranu.17. Blochni shifri. Available at: http://citforum.ru/internet/infsecure/its2000_16.shtml – zagl. z yekranu.18. Barichev, S. G., Goncharov, V. V., Serov, R. Ye. (2002). Standart AES. Algoritm Rijdael. Moscow: Telekom, 30–35.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Руженцев Віктор Ігоревич – кандидат технічних наук, доцент, кафедра Безопасности інформаційних технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Леніна, 14, г. Харків, Україна, 61166; тел.: 057-702-14-25; e-mail: diagnost@kture.kharkov.ua.

Руженцев Віктор Ігоревич – кандидат технічних наук, доцент, кафедра Безпеки інформаційних технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Леніна, 14, м. Харків, Україна, 61166; тел.: 057-702-14-25; e-mail: diagnost@kture.kharkov.ua.

Ruzhentsev Victor – PhD, Associate Professor, Department of Information Technology Security, Kharkov National University of Radioelectronics, Lenina Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel.: 057-702-14-25; e-mail: diagnost@kture.kharkov.ua.

Порван Андрей Павлович – кандидат технічних наук, старший научний співробітник, кафедра біомедицинської інженерії, харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Леніна, 14, г. Харків, Україна, 61166; тел.: 066-294-06-70; e-mail: porvan_a_p@mail.ua.

Порван Андрій Павлович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, кафедра біомедицинської інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Леніна, 14, м. Харків, Україна, 61166; тел.: 066-294-06-70; e-mail: porvan_a_p@mail.ua.

Porvan Andrei – PhD, Senior Research, Department of Biomedical Engineering, Kharkov National University of Radioelectronics, Lenina Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel.: 066-294-06-70; e-mail: porvan_a_p@mail.ua.

Пащенко Марія Анатольевна – студентка, факультет Електронної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Леніна, 14, г. Харків, Україна, 61166; тел.: 066-933-13-54; e-mail: maria-paschenko@mail.ru.

Пащенко Марія Анатоліївна – студентка, факультет Електронної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Леніна, 14, м. Харків, Україна, 61166; тел.: 066-933-13-54; e-mail: maria-paschenko@mail.ru.

Pashchenko Maria – student, Faculty of Electronic Engineering, Kharkiv National University of Radioelectronics, Lenina ave., 14, Kharkov, Ukraine, 61166; tel.: 066-933-13-54; e-mail: maria-paschenko@mail.ru.

УДК 629.33:004.056

А. В. МАКОВЕЦКИЙ

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СОВРЕМЕННОГО АВТОМОБИЛЯ

Современные автомобили представляют собой сложные технические системы, оснащенные электронными устройствами для улучшения эксплуатационно-технических свойств. Устойчивая тенденция увеличения количества электронных устройств в современных автомобилях с проводным и беспроводным подключением неизбежно приводит к росту уязвимостей, а значит – снижению безопасности и эффективности эксплуатации. Проведенный анализ позволил выявить ряд угроз информационной безопасности автоматизированных систем современных автомобилей, которые приводят к необходимости разработки методов механической и электронной защиты транспортных средств.

Ключевые слова: информация, уязвимость, защита, угроза, безопасность, эксплуатация, автомобиль.

Введение. Современные автомобили представляют собой сложные технические системы, оснащенные электронными устройствами для улучшения эксплуатационно-технических свойств. В 1990 г. электронные устройства и программное обеспечение составляли около 16 % стоимости автомобиля, в 2001 г. – 25 %, а в 2005 г. – до 40 % [1]. По оценкам специалистов Центра автомобильных исследований штата Мичиган, по состоянию на 2014 г. электроника и программное обеспечение составляют уже до 40-50 % [2] стоимости современного автомобиля. Также по данным Инженерной Ассоциации IEEE известно, что

программное обеспечение представляет 90 % [3] инноваций в автомобилях.

Устойчивая тенденция увеличения количества электронных устройств в современных автомобилях с проводным и беспроводным подключением неизбежно приводит к росту уязвимостей, а значит – снижению безопасности и эффективности эксплуатации.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. На сегодняшний день новый автомобиль содержит от 50 до 100 и более электронных блоков управления [4]. В работе [5] указывается, что к 2025 г.

©А. В. Маковецкий. 2015

100 % автомобилей будут подключены к информационным системам, а в работе [6] – что к 2035 г. 75% автомобилей будут автономными.

Авторами ряда работ [4, 7] установлено, что злоумышленники могут получить удаленный доступ к электронным системам транспортных средств, управлять их компонентами или похищать личные данные автовладельцев. Помимо злоумышленников, атаки на автомобильные сети также могут проводиться в целях корпоративного шпионажа [8]. Современная аппаратура позволяет создавать различные степени повреждения сетевых компонентов автомобиля.

Исследование состояния информационной безопасности показывает, что среди 173 исследованных автомобильных компаний по всему миру, число происшествий, выявленных в 2015 г. увеличилось на 32 % по сравнению с 2014 г. [7]. 98% всех протестированных программных приложений в автомобилях имеют серьезные дефекты, некоторые – от 10 до 15 [4]. В указанном исследовании приводятся и первые инциденты – взлом системы управления транспортом, приведший к аварии и пробкам на дорогах; кража автомобиля; блокирование GPS-отслеживания и угон инкассаторского автомобиля; взлом и перехват управления автомобилем Toyota Prius; произвольное ускорение автомобиля; подмена маршрута транспортных средств и т.д.

Вследствие атаки в 2014 г. злоумышленников на «Стрелки» [9], установленные на дорогах Подмосковья, ущерб для областного бюджета составил около 2 млн. рублей. Причиной сбоя, как выяснили в правительстве Подмосковья, стал компьютерный вирус, который вывел из строя 130 камер из 144 за семь дней.

В 2015 г. эксперты журнала Wired [10] провели показательный дистанционный взлом компьютерной системы Uconnect нового автомобиля Jeep Cherokee. Действуя с помощью ноутбука из другого города, программисты Ч. Миллер и К. Валасек сумели получить доступ к важным функциям автомобиля, включая самопроизвольный разгон, торможение, работу стеклоочистителей и т.д. В результате 1,4 млн. автомобилей с системой Uconnect соответствующей модификации были отправлены на сервис, а Национальное ведомство по вопросам дорожной безопасности NHTSA оштрафовало производителя на 105 млн. долларов [10] по целому ряду оснований: несвоевременный отзыв транспортных средств, недостаточный контроль безопасности, сокрытие информации от владельцев и властей и т.д.

По последним данным полиции Лондона [11], более трети всех угонов в столице Великобритании происходит с помощью перепрограммирования ключа зажигания, после чего преступникам требуется максимум 10 с на кражу. Угонщики используют вредоносные компьютерные программы, в том числе для получения контроля над спутниками. Это дает им возможность послать с орбиты сигнал – разблокировать двери, отключить сигнализацию и запустить двигатель нужного автомобиля. Данная проблема касается не только премиальных моделей, все современные автомобили подвержены рискам высокотехнологичных угонов [11].

Таким образом, анализ информационной безопасности современного автомобиля и поиск методов защиты информационных систем являются актуальными научными задачами и требуют изучения со стороны ученых и инженеров.

Цель и задачи работы. Целью исследования является повышение информационной безопасности автомобиля путем анализа возможных угроз и перспективных методов защиты информационных систем. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

– выполнить анализ возможных угроз информационной безопасности автоматизированных систем современных автомобилей;

– исследовать перспективные методы защиты информационных систем современных автомобилей.

Анализ возможных угроз информационной безопасности автоматизированных систем современных автомобилей. Согласно исследованию [12] потенциальным угрозам автомобилю могут подвергаться через: проводной интерфейс – OBD-II, USB, диагностические, зарядные, сетевые разъемы, CD/DVD-плеер и бортовые сети автомобиля (CAN, FlexRay, Ethernet, MOST и т.д.); беспроводные сети малой дальности – радиочастотные (контроль давления в шинах, брелок и т.д.), Wi-Fi, Near Field, Bluetooth, выделенные сети; беспроводные сети большой дальности – GPS, GSM/CDMA.

Потенциальным методом доступа [12] может являться использование: внешних сетей – сетевой Call-центр, сетевой сервис центр, домашняя сеть, сеть сотовой связи); модифицированных компонентов; портативных устройств – персональный компьютер, брелок, трансивер, съемный медиа диск (CD, DVD и т.д.), смартфон, музыкальный проигрыватель (портативное музыкальное устройство), самодельное электронное устройство.

Указанное выше вмешательство в работу автомобиля в целом может привести к следующим последствиям [12]: необычное поведение автомобиля в нормальных условиях эксплуатации; нарушение обмена данных в сетях автомобиля; создание препятствий в управлении автомобилем в экстремальных условиях эксплуатации и при контраварийном вождении; отображение водителю ложной информации; отвлечение внимания водителя; кража идентификационных данных (пароли, данные адресных книг, ключи, права доступа и т.д.).

Матрица угроз информационной безопасности автомобиля [12] позволяет систематизировать данные о вероятности перехвата управлением автомобилей в результате вмешательства злоумышленников, в частности:

– силовым агрегатом (трансмиссией, двигателем, гибридными приводными системами, а также показателями их датчиков);

– шасси и элементами систем безопасности (тормозной системой, рулевым управлением, экологическими датчиками, датчиками подушек безопасности, датчиками давления воздуха в шинах, датчиками шасси);

– электронными системами кузова (дверные модули, удаленные замки, управление светом, управление сидениями);

– системами обеспечения комфорта (вентиляции воздуха, климат-контроля, дистанционного запуска); информационно-развлекательными системами и т.д.).

Национальный институт стандартов и технологий США в документе NIST 800-30 [13] определяет уязвимость как «недостаток или слабость в процедурах безопасности, проектирования, реализации или внутреннего контроля системы, которые могут быть осуществлены (случайно или намеренно) и привести к нарушению безопасности или нарушению политики безопасности системы».

Эксперты [14] выделяют четыре класса уязвимостей в системе защиты автомобиля.

– прямой физический доступ;
– не прямой физический доступ (USB, PassThru, CD).

– беспроводной доступ на близкой дистанции (Bluetooth, Android-приложения, перехват MAC-адреса автомобильного сетевого устройства, брутфорс PIN);

– беспроводной доступ на дальней дистанции.

Автор исследования [10] приводит более 10 способов взлома автомобилей, которые относятся к одному из вышеперечисленных классов атак и проверены на практике.

Под кибербезопасностью авторы работы [14] предлагают понимать процесс жизненного цикла, который включает в себя следующие элементы: оценивание, проектирование, внедрение, эффективное тестирование и программу сертификации.

В результате исследования [12] разработана классификация тяжести последствий при недостаточной информационной безопасности автомобиля:

– высокая: серьезные травмы вплоть до летального исхода; потеря контроля над автомобилем;

– средняя: вероятность травм; опытный водитель может сохранить контроль над транспортным средством;

– низкая: отсутствие травм и потеря контроля над транспортным средством; мотив нападения – кража, создание неприятностей, самореклама.

Автор работы [10] утверждает, что автомобиль Tesla Model S потенциально уязвим к хакерским атакам. Проблема кроется в безопасности аутентификации интерфейса прикладного программирования API Tesla через удаленный доступ. При взломе сетевой базы данных злоумышленники получают свободный доступ ко всем автомобилям, зарегистрированным на сайте на срок до трех месяцев, а именно: возможность активировать механизм люка, определить местоположение автомобиля, подать звуковой сигнал, открыть багажник и выполнить ряд других операций. Данная уязвимость не приведет к возникновению дорожно-транспортного происшествия, однако может быть использована для слежки за автовладельцем.

В работе [15] приведены цифровые порты ввода/вывода модели типичного автомобиля 2012-го года выпуска, которые могут иметь уязвимости с точки зрения информационной безопасности (рис. 1).

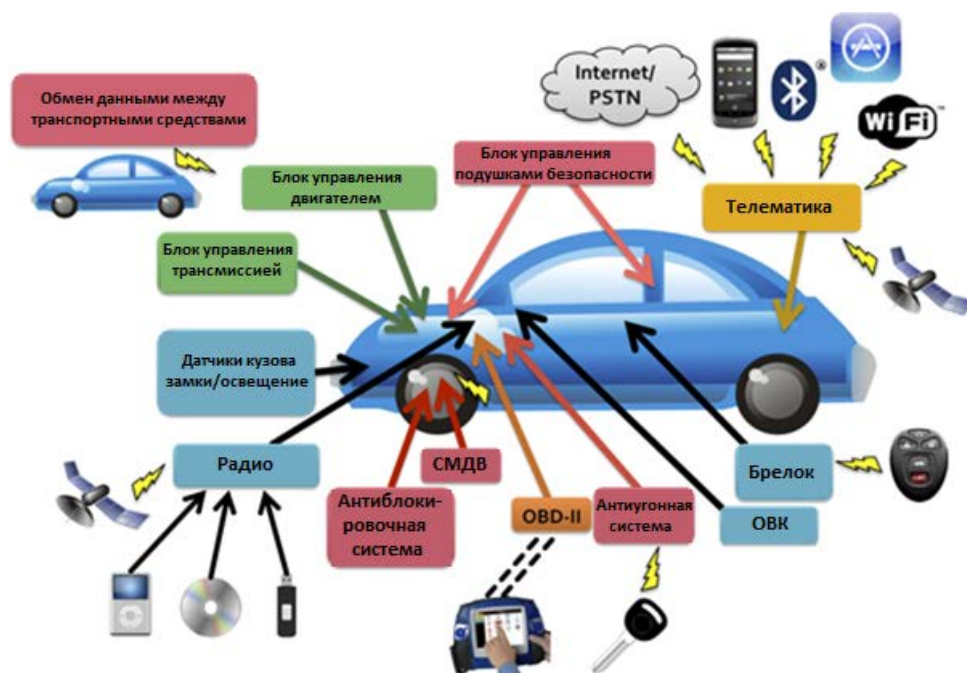


Рис. 1 – Цифровые каналы ввода-вывода данных современного автомобиля: ОВК – обогрев, вентиляция, кондиционирование воздуха; СМДВ – система мониторинга давления воздуха в шинах

Согласно данным немецкой организации ADAC [16], более 2 млн. автомобилей BMW с системой коммуникации ConnectedDrive не защищены от взлома с помощью смартфона, который можно осуществить в течение минуты. Проблема связана с использованием одного и того же кода доступа для различных автомобилей и незащищенного протокола.

В работе [17] систематизированы результаты проверки устойчивости автомобилей к кибератакам. В качестве объектов исследования выбраны 20 популярных моделей автомобилей 2006 – 2015 гг. выпуска.

С помощью метода экспертного оценивания присвоили баллы «лучше всех» – 5, «неплохо» – 4, «плохо» – 3, «хуже некуда» – 2 по результатам проверки

устойчивости автомобилей к кибератакам. В качестве параметров устойчивости используем: наличие слабо-защищенных каналов связи; оценка электроники; опасность внешней блокировки жизненно важных систем. Результаты выполненного экспертного оценивания приведем на рис. 2.

Анализ рис. 2 показывает, что с точки зрения информационной безопасности по среднему баллу

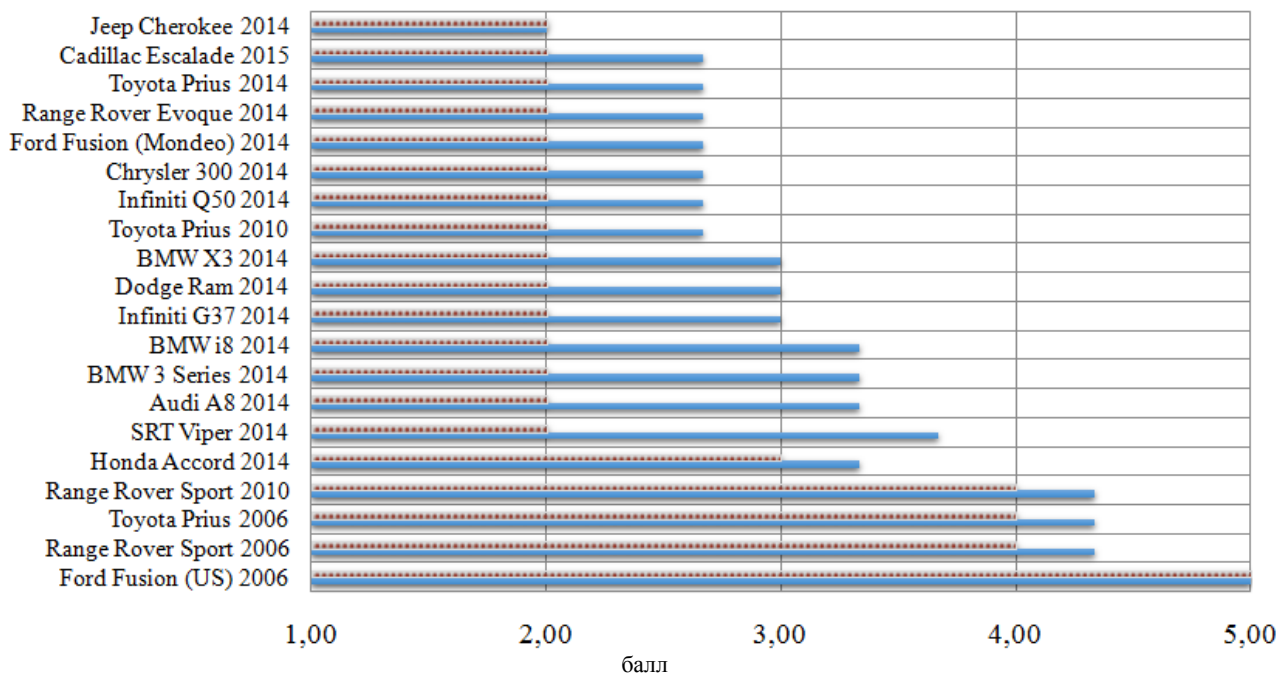


Рис. 2 – Результаты проверки устойчивости автомобилей к кибератакам: — средний балл; минимальный балл

По минимальному баллу к первой группе с высшей безопасностью относятся 20 % исследуемых автомобилей, ко второй группе – 5 %, а к третьей группе с низшей безопасностью – 75 % исследуемых транспортных средств.

Очевидно, что максимальную оценку информационной безопасности имеют автомобили более старых годов выпуска, вследствие меньшего количества бортовых электронных систем и возможных уязвимостей.

Средние баллы экспертного оценивания информационной безопасности автомобилей описываются законом нормального распределения (рис. 3).

можно выделить три группы автомобилей: первая группа имеет средний балл экспертной оценки выше 4-х; вторая группа 3...4; ниже 3-х. К первой группе с высшей безопасностью относятся 20 % исследуемых автомобилей, ко второй и третьей – по 40 % исследуемых транспортных средств.

Закон нормального распределения, приведенный на рис. 3, может быть описан с помощью следующей зависимости

$$D = f(x|M) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(M-3,234)^2}{2 \cdot 0,756^2}},$$

где D – плотность распределения; μ – математическое ожидание; σ – среднеквадратическое отклонение; M – экспертная оценка (балл).

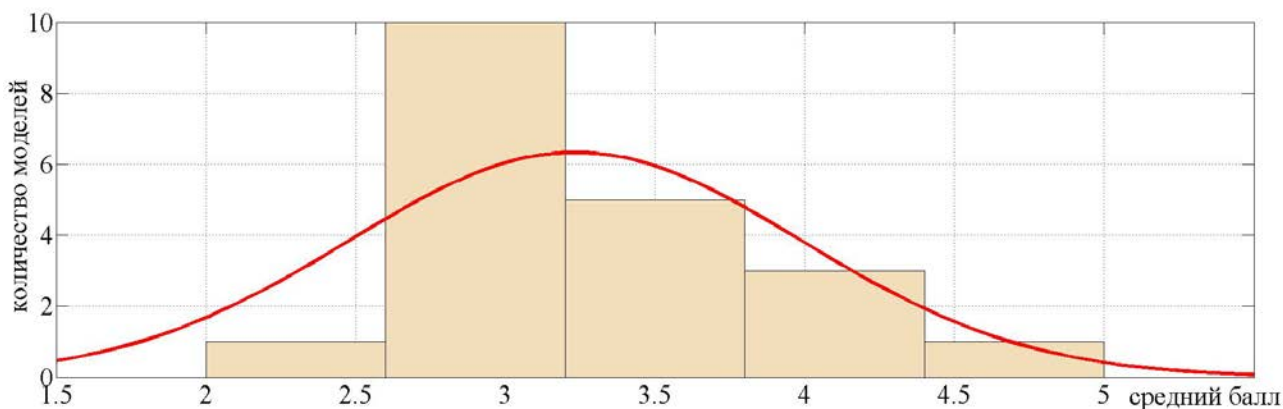


Рис. 3 – Закон нормального распределения оценок информационной безопасности автомобилей

Стандартная ошибка среднего (Std. Err.) для математического ожидания составляет 0,169, а для среднеквадратического отклонения 0,124.

Проведенный анализ позволил выявить ряд угроз информационной безопасности автоматизированных систем современных автомобилей. Выявленные уязвимости информационных систем современных автомобилей приводят к необходимости разработки более совершенных методов механической и электронной защиты транспортных средств.

Перспективные методы защиты информационных систем современных автомобилей. За последние несколько лет хакеры представили недорогие инструменты для несанкционированного доступа к транспортным средствам. Так, набор для взлома электронных систем автомобиля BMW предлагается за 30 дол. США, а устройство, размером с iPhone, способное полностью вывести автомобиль из строя доступно за 20 дол. США [17]. Угрозы взлома электронных систем автотранспортных средств и доступность соответствующих инструментов привела к появлению электронных и механических устройств для защиты от злоумышленников.

Инжиниринговый центр НИЯУ МИФИ [17] разработал и запатентовал устройство для защиты автомобилей от хакерских атак «Автовизор». Устройство устанавливается аналогично сигнализации, сканирует всю электронику транспортного средства на предмет вирусов, посторонних команд и обнаруживает любое стороннее оборудование, которое может провоцировать сбой в управлении. Все изменения отображаются в приложении на мобильном устройстве владельца и блокируются автоматически. Стоимость установки защитного устройства начинается от 400 дол. США и выше в зависимости от набора функций.

Эксперты Ч. Миллер и К. Валасек, о которых было сказано ранее, представили собственный прототип устройства, способного обеспечить информационную безопасность автомобиля [10]. Себестоимость указанного устройства не превышает 150 дол. США. Оно состоит из микроконтроллера NXP и панели управления, подключается к порту OBD-II любого современного автомобиля. После включения в течение минуты обычного вождения, устройство фиксирует характерные данные автомобиля. Переключение его в режим обнаружения позволит детектировать аномалии, отличающиеся от типичного «поведения» транспортного средства.

Ключевые вопросы информационной безопасности призван решить проект Европейского Союза E-Safety Vehicle Intrusion Protected Applications (EVITA) [18]. Целью проекта EVITA является проектирование, проверка и создание прототипа архитектуры бортовых автомобильных сетей, компоненты которых защищены от взлома при передаче данных внутри транспортного средства.

Архитектура Secure Vehicle Communication (SEVECOM) предполагает защиту внутренних коммуникаций, хранение ключей шифрования и сертификатов, защищенное исполнение элементов электронных систем транспортных средств [19].

К концу 2016 г. ожидается начало работы нового международного органа, объединяющего автопроиз-

водителей – Центра передачи и анализа информации (ISAC). Указанная организация создается совместно с Альянсом автопроизводителей и Ассоциацией глобальных автопроизводителей (двумя крупнейшими отраслевыми объединениями в мире). Ее целью являются сбор данных о кибератаках на автомобили и разработка способов противодействия им. Поскольку работа ISAC связана с серьезными вопросами безопасности и бизнеса, ее деятельность будет в значительной мере засекречена. Предполагается, что автомобильные компании будут на анонимной основе предоставлять экспертам ISAC информацию об обнаруженных в их автомобилях уязвимостях, а те в свою очередь, должны оценить степень угрозы и помочь в выработке общих решений, стандартизации мер безопасности и т. д.

В Конгресс США внесен законопроект «Акт о безопасности и приватности автомобиля», который призван защитить автовладельцев от опасностей со стороны хакеров. Документ предусматривает многоступенчатую систему защиты от постороннего подключения к современным автомобилям. Государственные органы США, в т.ч. Национальная администрация безопасности дорожного движения (NHTSA) занимаются разработкой федеральных стандартов защиты от киберпреступников, обязательные для выполнения всеми автопроизводителями, а также созданием системы специальных тестов и рейтингов кибербезопасности. Это связано с тем, что согласно данным NHTSA в США на сегодняшний день представлены лишь два автопроизводителя, в автомобилях которых установлена защита от киберпреступности.

Проведенный анализ показывает недостаточную реализацию защитных систем современных автомобилей. Для решения указанных проблем необходим синтез устройств и конкретных практических рекомендаций для повышения безопасности и эффективности эксплуатации автотранспортных средств.

Выводы. Проведенный анализ позволил выявить ряд угроз информационной безопасности автоматизированных систем современных автомобилей, что снижает эффективность эксплуатации и безопасность дорожного движения. Проводной или беспроводной доступ к информационным сетям современного автомобиля позволяет получить контроль над его силовым агрегатом, шасси, элементами систем безопасности и систем обеспечения комфорта.

По критериям оценки бортовой электроники, наличия слаботочных каналов связи, опасности внешней блокировки жизненно важных систем 75 % исследуемых современных автомобилей не соответствуют минимальным требованиям к информационной безопасности. Выявленные уязвимости информационных систем современных автомобилей приводят к необходимости разработки методов механической и электронной защиты транспортных средств.

Определен закон нормального распределения средних баллов экспертного оценивания информационной безопасности автомобилей. Математическое ожидание составляет 3,234, среднеквадратическое отклонение – 0,756. Стандартная ошибка среднего для

математического ожидания составляет 0,169, а для среднеквадратического отклонения 0,124.

Список литературы: 1. *Electronics: Driving Automotive Innovation* [Text]: Auto Electronics, Facts and Forecasts, 2005. – 15 p. 2. Hill, K. Just How High-Tech is the Automotive Industry [Text] / K. Hill // Center for Automotive Research, 2014. – 73 p. 3. Frischkorn, H. Automotive software – the silent revolution [Text] / H. Frischkorn // Automotive SW Workshop, 2004. – 302 p. 4. Лукацкий, А. Информационная безопасность современного автомобиля [Электронный ресурс] / А. Лукацкий // Cisco Systems. – 2015. – Режим доступа: <http://www.slideshare.net/lukatsky/connected-car-security>. 5. Kearney, A. The Mobile Economy [Text] / A. Kearney // GSMA, 2013. – 101 с. 6. Smart City Suppliers [Text]: Navigant Research Leaderboard Report, 2014. – 52 p. 7. Захарченко, А. Д. Угрозы информационной безопасности автоматизированных систем современных автомобилей [Текст] / А. Д. Захарченко, А. К. Шилов // Экономика и социум. – 2015. – No 3 (16). – С. 157–160. 8. Risk Management Framework Applied to Modern Vehicles [Text]: National Institute of Standards And Technology Cyber Security, 2014. – 27 p. 9. Редькина, Е. В Подмоскowie подсчитали ущерб от неработающих камер видеонаблюдения [Электронный ресурс] / Е. Редькина // За рулём. – 2014. – Режим доступа: <http://www.zr.ru/content/news/607363-v-podmoskove-podschitali-ushherb-ot-nerabotayushhix-kamer-vieofiksacii/>. 10. Данилина, В. Fiat-Chrysler знал о возможности взлома еще полтора года назад [Электронный ресурс] / В. Данилина // За рулём. – 2015. – Режим доступа: <http://www.zr.ru/content/news/803779-fiat-chrysler-znal-o-vozmozhnosti-vzloma-eshhe-poltora-goda-nazad/>. 11. Родионов, П. В Лондоне треть угонов авто приходится на хакеров [Электронный ресурс] / П. Родионов // За рулём. – 2014. – Режим доступа: <http://www.zr.ru/content/news/703636-tret-ugonov-avtomobilej-v-londone-prixoditsya-na-xakerov/>. 12. Characterization of Potential Security Threats in Modern Automobiles [Text]: NHTSA, 2014. – 46 p. 13. Risk Management Guide for Information Technology Systems Practices [Text]: NIST, 2002. – 56 p. 14. A Summary of Cybersecurity Best Practices [Text]: NHTSA, 2014. – 40 p. 15. Checkoway, S. Comprehensive Experimental Analyses of Automotive Attack Surfaces [Text] / S. Checkoway // IEEE Symposium on Security and Privacy. – 2010. – 16 p. 16. Hacker konnten BMW-Türen jahrelang per Handy öffnen [Электронный ресурс] / ADAC. – 2015. – Режим доступа: <http://www.zeit.de/mobilitaet/2015-01/bmw-hacker-sicherheit>. 17. Колодочкин, М. Взлом без лома: легко ли вскрыть машину со смартфона [Электронный ресурс] / М. Колодочкин // За рулём. –

2015. – Режим доступа: <http://www.zr.ru/content/articles/783458-vzлом-bez-loma-legko-li-vskryt-mashinu-so-smartfona/>. 18. E-Safety Vehicle Intrusion Protected Applications [Text]: EVITA, 2011. – 2 p. 19. Leinmuller, T. Secure Vehicle Communication [Text] / T. Leinmuller // SEVECOM, 2015. – 5 p.

Bibliography (transliterated): 1. *Electronics: Driving Automotive Innovation* (2005). Auto Electronics, Facts and Forecasts, 15. 2. Kill, H. (2014). Just How High-Tech is the Automotive Industry. Center for Automotive Research, 73. 3. Frischkorn, H. (2004). Automotive software – the silent revolution. Automotive SW Workshop, 302. 4. Lukatskiy, A. (2015). Information security of a modern car. Cisco Systems. Available at: <http://www.slideshare.net/lukatsky/connected-car-security>. 5. Kearney, A. (2013). The Mobile Economy. GSMA, 101. 6. *Smart City Suppliers* (2014). Navigant Research Leaderboard Report, 52. 7. Zaharchenko, A. (2015). Threats of the information security of modern cars automated systems. Economy and Society, 3, 157–160. 8. *Risk Management Framework Applied to Modern Vehicles* (2014). National Institute of Standards And Technology Cybersecurity, 27. 9. Redkina, H. (2014). It has estimated the damage from the working video-fixing cameras in Moscow. At the wheel. Available at: <http://www.zr.ru/content/news/607363-v-podmoskove-podschitali-ushherb-ot-nerabotayushhix-kamer-vieofiksacii/>. 10. Danilina, V. (2015). Fiat-Chrysler knew about the possibility of hacking a half years ago. At the wheel. Available at: <http://www.zr.ru/content/news/803779-fiat-chrysler-znal-o-vozmozhnosti-vzloma-eshhe-poltora-goda-nazad/>. 11. Rodionov, P. (2014). In London, a third of car hijackings accounted for hackers. At the wheel. Available at: <http://www.zr.ru/content/news/703636-tret-ugonov-avtomobilej-v-londone-prixoditsya-na-xakerov/>. 12. *Characterization of Potential Security Threats in Modern Automobiles* (2014). NHTSA, 46. 13. *Risk Management Guide for Information Technology Systems* (2002). NIST, 56. 14. *A Summary of Cybersecurity Best Practices* (2014). NHTSA, 40. 15. Checkoway, S. (2010). Comprehensive Experimental Analyses of Automotive Attack Surfaces. IEEE Symposium on Security and Privacy, 16. 16. *Hacker konnten BMW-Türen jahrelang per Handy öffnen* (2015). ADAC. Available at: <http://www.zeit.de/mobilitaet/2015-01/bmw-hacker-sicherheit>. 17. Kolodochkin, M. (2015). Hacking without scrap: how easy is it to open the car with your smartphone. At the wheel. Available at: <http://www.zr.ru/content/articles/783458-vzлом-bez-loma-legko-li-vskryt-mashinu-so-smartfona/>. 18. E-Safety Vehicle Intrusion Protected Applications (2011). EVITA, 2. 19. Leinmuller, T. (2015). Secure Vehicle Communication. SEVECOM, 5.

Поступила (received) 06.06.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Маковецкий Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»; Кафедра автомобилей и транспортной инфраструктуры, ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070;

Маковецкий Андрей Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАИ»; Кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури, вул. Чкалова, 17, м. Харків, Україна, 61070, тел.: 050-624-09-33; e-mail: makoveckii.andre@mail.ru.

Makovetskiy Andrii – Ph.D., associate professor, National Aerospace University named after N. Zhukovsky «KhAI»; Automobiles and Transport Infrastructure Department, Chkalova st., 17, Kharkov, Ukraine, 61070

УДК 504.03 / 628.3.03

В. В. МИХАЙЛЕНКО

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ В ЗОНІ ВПЛИВУ ЗВАЛИЩ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Робота присвячена дослідженню технологічних заходів щодо підвищення рівня екологічної безпеки водних в зоні негативного впливу звалища твердих побутових відходів м. Маріуполя. Розроблені комплексні заходи щодо перешкодження потрапляння забрудненого фільтрату в підземні води та ріку Кальміус. Визначено оптимальні умови процесу анаеробного зброджування за яких ефективність очищення максимальна. Доведено ефективність застосування методу осадження для видалення заліза з фільтрату звалища ТПВ та шаруватих подвійних гідроксидів для сорбції фенолів. Визначено оптимальний склад нейтралізуючої суміші.

Ключові слова: екологічна безпека, звалище твердих побутових відходів, фільтрат, анаеробне зброджування, шаруваті подвійні гідроксиди.

© В. В. Михайленко. 2015

Вступ. Одними з найвпливовіших джерел забруднення навколишнього середовища, зокрема водних об'єктів, є звалища твердих побутових відходів (ТПВ).

Фільтрат звалищ ТПВ являє собою розчин, в якому вміст забруднюючих речовин значно перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК), встановлені для водних об'єктів культурно-побутового значення, зокрема, важких металів, сульфатів, заліза, нітратів тощо. Крім того, означений фільтрат містить патогенні мікроорганізми, яйця гельмінтів та є загрозою життю і здоров'ю населення.

Яскравим прикладом є звалище твердих побутових відходів м. Маріуполя, яке розташоване у прибережній зоні р. Кальміус. Воно становить екологічну небезпеку для природних вод: річки Кальміус та Азовського моря, які знаходяться у зоні його впливу. Внаслідок неконтрольованого надходження забрудненого хімічними речовинами та патогенною флорою фільтрату в річку і в ґрунтові води, цим об'єктам завдається шкода.

У зв'язку з цим перспективним і актуальним напрямком є розробка способів очищення фільтрату зі звалища до показників нижче встановлених норм ГДК для запобігання забруднення річки Кальміус і Азовського моря.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Значний внесок у дослідження негативно впливу фільтрату звалищ та полігонів ТПВ на водні об'єкти та технологій очищення зробили такі провідні вітчизняні та закордонні фахівці: Варнавська І. В., Яцков М. В., Душкін С. С., Сталінський Д. В., Ягафарова Г. Г., Вайсман Я. І., Калініхін О. Н., Найманов А. Я., Окрушко В. С.

З літературних джерел відомо, що методи очищення стічних вод можна розділити на механічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні [1, 2]. Реагентні методи [3, 4] полягають в хімічному зв'язуванні або перетворенні забруднюючих речовин. Вони знижують концентрацію солей важких металів, але вносять в стоки, що скидаються у природні водойми, додаткову сольову навантаження. До того ж, вони економічно найвитратніші [5].

Фізико-хімічні методи, що включають в себе електрохімічні та сорбційні способи обробки стоків - найбільш пріоритетні методи очищення забруднених стоків. Електрохімічні методи дозволяють без додаткових витрат і хімічних реагентів ефективно очищати відпрацьовані водні стоки, забруднені маслами, жирами, білками, нафтопродуктами, поверхнево-активними речовинами, барвниками, пестицидами, фенолами, солями важких металів та іншими токсичними речовинами. Основним недоліком електрохімічних методів очищення забруднених вод є їх висока, у порівнянні з іншими методами, вартість.

Бактеріальна очистка стічних вод на даний час є загальноприйнятною при обробці міських господарсько-побутових стоків [5, 6]. До недоліків біологічних методів очищення стічних вод відносяться необхідність дотримання жорстких температурних умов, необхідність спеціального вирощування рослин для очищення і, згодом, їх утилізація. Мікроорганізми та вищі рослини не зможуть ефективно очищати стічні води полігонів при низьких температурах в осінньо-

зимовий період.

Традиційно у водопідготовці використовуються вугільні або мінеральні сорбенти [7]. Однак вони мають ряд недоліків. У зв'язку з тим, що регенерація сорбентів неефективна, то це сорбенти одноразового використання, що економічно недоцільно [8]. Крім того, використання активованого вугілля обмежено його високою вартістю, а також тривалим часом встановлення сорбційної рівноваги.

Шаруваті подвійні гідроксиди — найбільш поширені глинисті мінерали з властивостями неорганічних аніонитов. Аніонні глини являють собою шаруваті подвійні гідроксиди різного складу. Наявність основних центрів Бренстедовського і Льюїсовського типів робить можливим протікання процесу аніонного обміну у внутрішньому просторі синтетичних аніонних глин. Використання шаруватих подвійних гідроксидів дозволяє видаляти із забруднених вод як катіони металів, так і аніони одночасно [8].

Сорбційну очистку найбільш ефективно застосовувати на стадії доочищення забруднених вод.

При розробці технологій очищення фільтрату звалищ та полігонів ТПВ необхідно враховувати різні супутні фактори, а саме: етап життєвого циклу полігону або звалища, кліматичний фактор, потужність, якісні показники очищеного фільтрату. Розроблена технологія повинна бути досить гнучкою, врахувати коливання якісного складу, повинна забезпечити повну деструкцію шкідливих речовин або переведення їх в нешкідливі речовини, звести до мінімуму або взагалі виключити ефект сумації, що дозволить мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище [9].

На жаль, описані технології очищення забруднених вод не ефективні при очищенні фільтрату звалища твердих побутових відходів м. Маріуполя.

Ціль та задачі дослідження. Метою роботи є теоретичне обґрунтування та розробка способів очищення фільтрату звалища твердих побутових відходів для запобігання забруднення річки Кальміус і Азовського моря.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні теоретичні та експериментальні завдання:

- дослідити анаеробний процес очищення фільтрату, що просочився;
- удосконалити технологію очищення рідкої фази накопичувача від фенолів за допомогою шаруватих подвійних гідроксидів та заліза за допомогою оксиду кальцію;
- розробити комплексні заходи щодо запобігання негативного впливу звалища на навколишнє середовище.

Матеріали та методи дослідження технології очищення фільтрату звалища твердих побутових відходів м. Маріуполя. Анаеробні, сорбційні та осаджувальні процеси вивчали кінетичним методом. Дослідження процесу анаеробного зброджування фільтрату проводили в лабораторних умовах у термостатуючому реакторі. Ефективність сорбції фенолів за допомогою шаруватих подвійних гідроксидів визначали в лабораторних умовах в реакторі змішення з періодичним відбором зразків. Кінетичні закономірності осадження заліза визначали за зміною мутності

та кольору розчину за допомогою фотоколориметричного методу.

Об'єктом дослідження є екологічно небезпечні процеси забруднення Азовського моря та ріки Кальміусь фільтратом зі звалища твердих побутових відходів.

Предметом дослідження є очищення фільтрату зі звалища твердих побутових відходів з використанням анаеробного процесу зброджування та рідкої фази накопичувача подвійними шаруватими гідроксидами.

Результати дослідження ефективності технології підвищення екологічної безпеки водних об'єктів в зоні негативного впливу звалища твердих побутових відходів та обговорення результатів. Попередні дослідження хімічного та біологічного складу фільтрату звалища твердих побутових відходів наведені в роботах [10, 11]. Хімічний аналіз показав перевищення гранично допустимих концентрацій хімічних речовин, зокрема, заліза та фенолів. Біологічні дослідження фільтрату виявили перевищення значень коли-індексу, загального мікробного числа. Були виявлені патогенні мікроорганізми (*Clostridium perfringens*, *Bacillus anthracis*, *Salmonella enterica*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio cholerae*) та яйця гельмінтів (*Enterobius vermicularis*, *Ascaris lumbricoides*, *Diphyllobothrium latum*, *Taeniarrhynchus saginatus*).

Розроблений комплекс заходів передбачає проведення рекультивації звалища ТПВ м. Маріуполя з метою покращання екологічного стану навколишнього середовища. Процес рекультивації виконується у два етапи: технічний та біологічний. Технічний етап включає конструкційні рішення – з улаштування захисних екранів для основи та поверхні звалища, очищення та утилізації біогазу, збору та обробки фільтрату та поверхневих стічних вод. Після технічного етапу рекультивації виконують біологічний, який включає комплекс агротехнічних та фітомеліоративних заходів.

Ефективним способом очищення фільтрату, що просочився на поверхню, є метод анаеробного зброджування. Для практичного застосування методу анаеробного зброджування з метою очищення забрудненого фільтрату була вивчена залежність процесу від різних чинників, визначені найбільш оптимальні умови протікання процесу зброджування.

Дослідження процесу анаеробного зброджування проводили в лабораторних умовах. На процес анаеробного зброджування основний вплив чинять наступні фактори: концентрація мікроорганізмів, рН середовища, інгібітори, перемішування.

Було встановлено, що тривалість процесу очищення знижується разом зі збільшенням частки збродженого осаду, який служить інокулятом. У кожному наступному циклі тривалість фази кислотного гідролізу також знижується, тобто відбувається адаптація мікрофлори осаду, що розвивається в лабораторній установці анаеробного зброджування.

При лабораторному дослідженні зброджування процес тривав протягом 4 тижнів, при цьому вихід газу знижувався з 28-30 до 5-8 обсягів на 1 об'єм рідини (Рис. 1). Склад газу при цьому був: метану – 63 %, вуглекислого газу – 36 %. При низьких температурах спостерігалось досить високе значення залишкового ХСК (рис. 2).

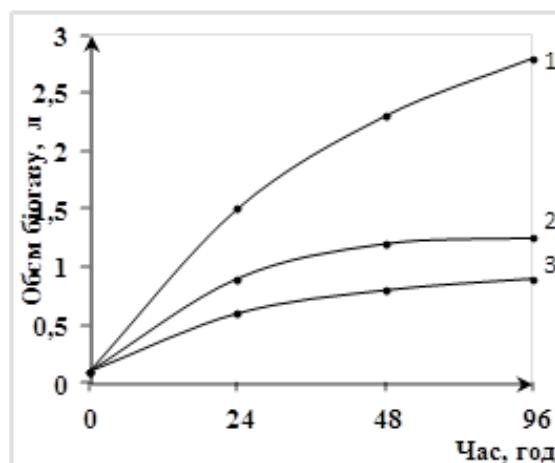


Рис. 1 – Об'єм біогазу за різних температур: 1 – 22 °C, 2 – 36 °C, 3 – 55 °C.

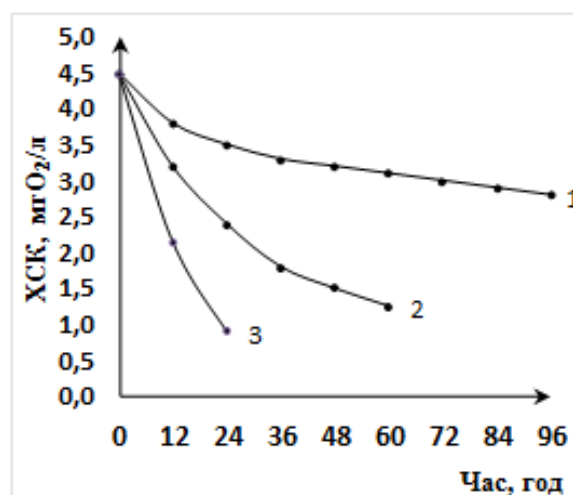


Рис. 2 – Перебіг процесу зброджування: 1 – 22 °C, 2 – 36 °C, 3 – 55 °C.

Кінетичні закономірності швидкості зброджування описуються рівнянням Арреніуса в тому температурному діапазоні, де не відбувається загибелі мікроорганізмів.

У початковий період процесу швидкість реакції можна описати рівнянням, що враховує як зміну ХСК, так і збільшення обсягу біогазу, що виділяється:

$$-\frac{d[\text{ХСК}]}{d\tau} = kC, \quad (1)$$

$$\frac{dV}{d\tau} = kC. \quad (2)$$

Грунтуючись на тому, що концентрація осаду в фільтраті невелика, кінетичну модель будували з припущенням, що процес описується рівнянням першого порядку. За результатами дослідження зброджування при різній температурі знайшли енергію активації, рівну 51 кДж/моль. Це свідчить про те, що швидкість всього процесу анаеробного зброджування визначається активністю мікроорганізмів, а не процесами доставки субстрату. Це пов'язано з інтенсивним перемішуванням бродильної маси протягом процесу.

При температурі 63-66 °C виділення біогазу і

зниження ХСК не спостерігали протягом 7 діб. Це свідчить про те, що процес анаеробного зброджування не проходив, оскільки за даних температур гинуть мікроорганізми, що сприяють зброджуванню.

Суттєвим є те, що при різних температурах очищення титр ентеробактерій і вміст гельмінтів змінюються по-різному. Так при температурах близько 37 °С кількість ентеробактерій навіть зростає в порів-

нянні з початковими значеннями, збільшується і вміст гельмінтів. Збільшення температури до 45 °С призводить до загибелі гельмінтів, але в мулі ще присутня досить велика кількість ентеробактерій і лише при температурі 55 °С вміст ентеробактерій різко знижується. Тобто при роботі установки в оптимальному режимі забезпечується повна загибель мікроорганізмів і гельмінтів (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати очищення фільтрату методом анаеробного зброджування

Показники	ГДК	Початкова концентрація	Кінцева концентрація, °С		
			22	37	55
Загальне мікробне число	Не нормується	$7,0 \cdot 10^9$ кл/дм ³	$1,8 \cdot 10^4$ кл/дм ³	$3,7 \cdot 10^6$ кл/дм ³	Не виявлені
Колі-індекс	$1 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^5$	$8,1 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^6$	Не виявлені
Патогенні мікроорганізми	Відсутність	Наявність	Наявність	Наявність	Не виявлені
Яйця гельмінтів	Відсутність в 25 дм ³	63 шт/дм ³	22 шт/дм ³	14 шт/дм ³	Не виявлені

Розбавлення субстрату водою не тільки зменшує концентрацію, але і призводить до більш глибоких змін у процесі зброджування. Були проведені дослідження з вивчення швидкості зброджування розведених проб. Осад розбавляли водою у співвідношеннях: вода-осад – 10/90, 20/80, 40/60. Різке зниження швидкості очищення при розведенні фільтрату водою ми пояснюємо тим, що у воді присутній кисень, який повністю і остаточно інгібує процеси бродіння, оскільки мікроорганізми, що розвиваються в процесі, являють собою строгі анаероби – не переносять навіть незначних концентрацій розчиненого кисню.

Розробка технології очищення накопичувача проводилася виходячи з результатів хімічного дослідження. Оскільки дослідження рідкої фази накопичувача показали перевищення гранично допустимих концентрацій фенолів і солей заліза, технологія очищення має бути спрямована на очищення від цих компонентів. Розроблена нами технологія стала основою проекту з очищення накопичувача з подальшим його засипанням. Середній обсяг рідкої фази накопичувача становить 80 тис. м³, площа дзеркала води – 35 тис. м².

Очищення компонентів водної фази накопичувача включає в себе вирівнювання дна, засипку нейтралізуючого шару, засипку адсорбуючого шару. В якості нейтралізуючої суміші використовується оксид кальцію. Як сорбент використовуються шаруваті подвійні гідроксиди.

Була вивчена кінетика іонообмінної сорбції фенолу на сорбентах різного складу. Через те, що фенол є кислотою, процес іонного обміну протікає досить швидко.

Для визначення параметрів процесу були проведені дослідження кінетики сорбції фенолів. Отримані результати експериментів свідчать проперший концентраційний порядок за адсорбатом. Дослідження показали, що швидкість поглинання фенолів залежить прямопропорційно від концентрації фенолів і кількості сорбенту. Отримане значення енергії активації 29 кДж/моль свідчить про те, що реакція протікає в дифузійній області.

В якості нейтралізуючої суміші для очищення фільтрату звалища від заліза запропоновано використовувати шлак і оксид кальцію. Це дозволить використати металургійний шлак, що накопичений у

місті. Для рівномірного розподілу основного компоненту шлак і оксид кальцію взяті у співвідношенні 4:1 (фракційний склад нейтралізуючої суміші: 2-3 мм). Для осадження всього заліза потрібно 86,8 т оксиду кальцію, 347,1 т металургійного шлаку. Кількість сорбентів, необхідна для повної адсорбції фенолів, складе 70 т. Сумарна маса суміші становить 503,9 т. У процесі нейтралізації з водної фази накопичувача буде вилучено: органічних сполук – 45,6 т; неорганічних сполук – 522 т.

Всі сполуки, як органічні, так і неорганічні в процесі очистки будуть осаджені на дно накопичувача і утворять асфальтоподібний шар. Вивезення або будь-якого іншого видалення відходів не передбачається.

Після видалення фенолів і заліза очищені води накопичувача будуть скидатися через дренажну мережу на біоплато, розташоване за автодорогою, а звідти – в річку Кальміус. До попадання в річку Кальміус склад очищених вод контролюється двічі: перший раз – безпосередньою накопичувачі після нейтралізації, перед скиданням на біоплато; другий раз – після біоплато, перед скиданням в річку Кальміус.

Впровадження запропонованих заходів очищення стічних фільтрату звалища за допомогою анаеробного зброджування та нейтралізації і сорбції дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки звалища твердих побутових відходів. Розроблена технологія дозволяє знизити вміст хімічних забруднювачів до рівня нижче ГДК. Результати очищення наведені в табл. 2.

Таким чином, скидання очищеного фільтрату у річку Кальміус не призведе до погіршення екологічного стану водних об'єктів тому, що очищення відбувається до значень показників нижче встановлених ГДК.

Таблиця 2 – Результати очищення фільтрату від заліза та фенолів

Показники	ГДК, мг/дм ³	Початкова концентрація, мг/дм ³	Кінцева концентрація, мг/дм ³
PhOH	0,1	557,35	0,006
Fe	0,3	98,7	0,04

На даний час внаслідок безконтрольного скидання забрудненого фільтрату в річку і в ґрунтові води наноситься екологічний збиток водним об'єктам.

Зі звалища твердих побутових відходів у річку Кальміус та Азовське море надходить забруднений фільтрат, обсягом $24,3 \cdot 10^3$ м³/рік. Разом із забрудненим фільтратом звалища ТПВ в річку Кальміус та Азовське море скидається 7,9 т фенолів і 10,8 т заліза.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено, що запобігання забрудненню водних об'єктів фільтратом звалища твердих побутових відходів шляхом доведення якості його очищення до встановлених норм ГДК є актуальним завданням. У роботі, яка є закінченою науково-дослідною роботою, поставлена і вирішена проблема забезпечення якості очищеного фільтрату за показниками вмісту забруднюючих речовин до встановлених ГДК.

Методом однофакторного експерименту були проведені кінетичні дослідження процесів анаеробного зброджування. Доведено можливість застосування анаеробного зброджування для очищення фільтрату від біологічного забруднення з наступним скиданням очищеного фільтрату в річку. Визначено оптимальні умови процесу – при температурі 54-55 °С ефективність очищення максимальна. Встановлено, що використання безперервного способу організації процесу найефективніше.

Доведено ефективність застосування методу осаждення для видалення заліза з фільтрату звалища ТПВ. Визначено оптимальний склад нейтралізуючої суміші. Розрахована кількість компонентів суміші складає 86,8 т оксиду кальцію, 347,1 т металургійного шлаку, 70 т шаруватих подвійних гідроксидів.

Список літератури: 1. Великанов, Н. Л. Очистка сточных вод свалок твердых бытовых отходов, отдельных зданий и сооружений [Текст] / Н. Л. Великанов, М. Н. Великанова, А. В. Колобов // Изв. Калинин. гос. технич. ун-та. – 2009. – No 15. – С. 60–64. 2. Варнавская, И. В. Анализ условий образования и состава сточных вод полигонов твердых бытовых отходов [Текст] / И. В. Варнавская // Экология и промышленность. – 2008. – No 1. – С. 7–14. 3. Майоров, С. А. Электрохимическая очистка хозяйственно-бытовых и промфакальных сточных вод [Текст] / С. А. Майоров, Ю. А. Седов, Ю. А. Паррахин // Водоочистка. – 2009. – No 10. – С. 41–43. 4. Сталинский, Д. В. К вопросу об очистке сточных вод полигонов твердых бытовых отходов [Текст] / Д. В. Сталинский и др. // Научный вестник будів-

ництва. – 2009. – No 52. – С. 120–129. 5. Луговской, А. Ф. Оценка методов обеззараживания воды [Текст] / А. Ф. Луговской, А. В. Мовчанюк, И. А. Гришко // Вестник нац. техн. ун-ту Украины. Серия «Машиностроение». – 2008. – No 52. – С. 103–111. 6. Душкин, С. С. Прогрессивные технологии в области очистки природных и сточных вод [Текст] / С. С. Душкин, Г. И. Благодарная // Коммунальное хозяйство городов. – 2010. – No 93. – С. 3–11. 7. Самохвалова, А. И. Общие сведения о системе очистки сточных вод [Текст] / А. И. Самохвалова // Наук. вестник будівництва. – 2009. – No 51. – С. 121–125. 8. Яцков, Н. В. Анализ методов очистки стоков мест захоронения твердых бытовых отходов [Текст] / Н. В. Яцков, И. В. Варнавская // Экология довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – No 4. – С. 69–73. 9. Синельцев, А. А. Разработка нового высокоэффективного адсорбента на основе природного глауконита для очистки сточных и питьевых вод [Текст] / А. А. Синельцев, Т. И. Губина // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. тр. – 2011. – No 2. – С. 258–260. 10. Бутенко, Э. О. Сорбционное удаление токсических соединений из промышленных сточных вод при помощи слоистых двойных гидроксидов [Текст] / Э. О. Бутенко, А. Е. Капустин // Экология и промышленность. – 2010. – No 3. – С. 52–59. 11. Шавкун, В. В. Уменьшение дренажных стоков с полигона твердых бытовых отходов [Текст] / В. В. Шавкун, А. Е. Капустин // Вестник Приазовского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – No 25. – С. 260–265. 12. Shavkun, V. Azov Sea Contamination By Dump And Landfill / V. Shavkun, A. Kapustin, Y. Binkovskiy // Int. J. of Sustainable Water and Environmental Systems. – 2012. – No 1. – Vol. 4. – P. 67–72.

Bibliography (transliterated): 1. Velikanov, N. Velikanova M., Kolobov A. (2009). Ochistka stochnykh vod svalok tverdykh bytovykh otkhodov, otdelnykh zdaniy i sooruzheniy. Izv. Kalinin. gos. tekhn. un-ta, 15, 60–64. 2. Varnavskaya, I. (2008). Analiz usloviy obrazovaniya i sostava stochnykh vod poligonov tverdykh bytovykh otkhodov. Ekologiya i promishlennost, 1, 7–14. 3. Mayorov S., Sedov Y., Parakhin Y. (2009). Elektrokhimicheskaya ochistka khozaystvenno-bytovykh i promfakalnykh stochnykh vod. Vodoochistka. 10, 41–43. 4. Stalinskiy, D. (2009). K voprosu ob ochistke stochnykh vod svalok tverdykh bytovykh otkhodov. Nauchyy visnyk budivnytstva, 52, 120–129. 5. Lugovskoi, A., Movchanyuk A., Grishko I. (2008). Otsenka metodov obezrazhivaniya vody. Visnyk nats. tekhn. un-tu Ukrainy. Seriya “Mashinostroeniye”, 52, 103–111. 6. Dushkin, S., Blagodarnaya, G. (2010). Progressivnye tekhnologii v oblasti ochistki prirodnykh i stochnykh vod. Kommunalnoe khozaystvo gorodov, 93, 3–11. 7. Samokhvalova, A. (2009). Obshnie svedeniya o sisteme ochistki stochnykh vod. Nauchyy visnyk budivnytstva, 51, 121–125. 8. Yatskov, N., Varnavskaya, I. (2008). Analiz metodov ochistki stokov mest zakhoroneniya tverdykh bytovykh otkhodov. Ekologiya dovkilliya ta bezpeka jittedyalnosti, 4, 69–73. 9. Sineltseva, A., Gubina, T. (2011). Razrabotka novogo vysokoefektivnogo adsorbenta na osnove prirodnoho glaukonita lkz ochistki stochnykh i pitevykh vod. Ekologicheskiye problem promyshlennykh gorodov, 2, 258–260. 10. Butenko, E., Kapustin, A. (2010). Sorbtionnoe udalenie toksicheskikh soedineniy iz promyshlennykh stochnykh vod pri pomoshi sloistykh dvoynykh gidroksidov. Ekologiya i promyshlennost, 2, 315–325. 11. Shavkun, V., Kapustin, A., Binkovskiy, Y. (2013). Azov Sea contamination by Dumps and Landfill, Int. J. of Sustainable Water and Environmental Systems, 1 (4), 67–72.

Надійшло (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Михайленко Валерія Валеріївна – Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», асистент кафедри хімічної технології та інженерії; вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, Україна, 87500; тел.: (0629) 47-43-73; e-mail: shavkun_v_v@mail.ru.

Михайленко Валерія Валеріївна – Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», ассистент кафедры химической технологии и инженерии; ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500; тел. 0629-47-43-73; e-mail: shavkun_v_v@mail.ru.

Mykhailenko Valeriia – Pryazovskyi State Technical University, assistant professor of Department of Chemical Technology and Engineering; Universytets'ka 7, Mariupol, 87500; tel. 0629-47-43-73; e-mail: shavkun_v_v@mail.ru.

РЕФЕРАТИ

УДК 539.3

Про стійкість тришарових неоднорідних стрижнів у нелінійно пружних середовищах/ Ісали Б. Є., Мамедлі Р. Е. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.3–5. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті досліджується задача стійкості тришарових неоднорідних прямолінійних стрижнів на нелінійно пружній основі під дією сти-скаючих навантажень. Тут передбачається, що стрижень знаходиться в нерівномірному температурному полі і модулі пружності матеріалу шарів залежать від температури. Для пружної основи приймається нелінійний модель і передбачається, що гіпотеза плоских перетинів справедлива для всієї товщини елемента стрижня. У загальному вигляді отримано рівняння стійкості розглянутого стрижня і для конкрет-ного випадку знайдена формула для визначення критичного навантаження.

Ключові слова: тришаровий неоднорідний стрижень, температура, стійкість, критичне навантаження.

УДК 539.3

Стійкість неоднорідних нано-мікро елементів на основі нелокальної теорії пружності/ Ісасв Ф. К., Раджабов В. Г. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.5–8. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

У представленій статті досліджується стійкість неоднорідних нано-мікро елементів на основі не локальної теорії пружності. Тут як елемент конструкції прийняти прямолінійний стержень і для нього прийнята теорія стрижнів Ейлера-Бернуллі. Передбачається, що модуль пружності матеріалу стержня є безперервною функцією координати товщини. При отриманні рівнянь стійкості на основі теорії стрижня Ейлера-Бернуллі був використаний рівняння стану нелокальної теорії пружності запропоновані Ерінгеном. Для різних випадків граничних умов одержано рівняння стійкості розглянутих стрижнів. Після рішення отриманих рівнянь знайдено аналітичні формули для визначення критичного навантаження і проведені різні аналізи.

Ключові слова: нано-мікро елемент, неоднорідний, теорія стрижнів Ейлера-Бернуллі, стійкість, критичне навантаження, нелокальна теорія пружності

УДК 616-073.55, 616-073.582, 616-073.65

Особливості розподілу температури плівкового нагрівача на основі прозорої електропровідної півки ІТО/ Маслов В. П., Ли-твин П. М., Туру Т. А., Корчовий А. А., Качур Н. В., Гурін А. В. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплек-си. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.8–14. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Встановлено, що напилене магнетронним способом на скляний зразок віконного флоат - скла прозоре електропровідне ІТО покриття може мати топологічну структурну неоднорідність товщин, шорсткості, розміру зерен та механічних напружень, яка при нагріванні прояв-ляється в нерівномірності температурного поля на ньому. Рекомендується у виробництві віконного скла з ІТО-покриттям проводити поля-ризаційний контроль механічних напружень в зразках готової продукції.

Ключові слова: тонкоплівковий прозорий нагрівач, нанопокриття окис (індію – олова), флоат-скло, , атомно-силова мікроскопія, термографія, механічні напруження, поляризаційний оптичний контроль.

УДК 621.762

Структура і властивості композицій після спікання та гарячого ущільнення/ Мамедов А. Т., Алієв Ч. А. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.14–18. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті наведені результати досліджень композицій «метали-оксиди-сполучна», одержуваних холодним пресуванням наступних компонентів: порошок залізний, частинки оксиду Fe₂O₃, смола Сорж-+3031, після чого композиції були піддані додатковим операціям. Для досягнення високої щільності пресовок були здійснені три технологічні варіанти: спікання, гаряче пресування і гаряча осадка. Встановлено, що ущільнення пресовок в цих операціях має складний характер і залежить від частки оксиду у складі композицій.

Ключові слова: структура, властивості, композиція, спікання, пресування, усадка, оксидна фаза, водень.

УДК: 621.373.826

Основні принципи фотонно-кристалічних волокон гіроскопу/ Аль-Судані Хайдер А. М. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.18–23. – Бібліогр.: 25 назв. – ISSN 2079-5459.

Фотонно-кристалічні волокна відіграють головну роль у розробці нових волоконно-лазерних джерел надкоротких світлових імпуль-сів і створення компонентів волоконного формату для контролю таких імпульсів. Волоконно-оптичний гіроскоп - це одна зі сфер застосу-вання оптичних волокон, що залежить головним чином від ефекту Саньяка. Вона належить до важливих сфер застосування в галузі косміч-ної навігації. У цій статті ми запропонували використовувати фотонно-кристалічна волокно порожнистим сердечником 1550 nm, Ø10 мкм в оптичному гіроскопі. Фотонно-кристалічні волокна демонструють специфічні властивості і можливості, які призводять до величезного потенціалу для використання в галузі вимірювань.

Ключові слова: волоконно-оптичний гіроскоп, ефект Саньяка, фотонно-кристалічна волокно порожнистим сердечником

УДК 681.518.54

Розрахунок вимірювальних каналів вібрації для ідентифікації складних промислових агрегатів /Мигущенко Р. П. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.24–27. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статті розглядається синтез вимірювального каналу вібрації і аналітичний розрахунок його точнісних характеристик. Показано, що для ідентифікації поточного функціонального стану складних промислових агрегатів, в умовах експрес-контролю, найбільш доцільно оці-нювати механічну вібрацію основних вузлів таких агрегатів, а для вимірювання вібрації використовувати п'єзоелектричні датчики. В статті розроблена структура перетворення механічної вібрації в електричний сигнал, проведені розрахунки елементів вимірювального каналу. Ре-зультати досліджень використані при контролі стану двигунів танків Т-64.

Ключові слова: промисловий агрегат, механічна вібрація, вимірювальний канал, похибка вимірювання, експрес-контроль

УДК 519.71

Розширення мережевих моделей на основі інтеграції стохастичних та нечітких графів/ Кучеренко Є. І., Глушенкова І. С., Глушен-ков С. О. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.28–31. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглянуто розширення мережевих моделей на основі інтеграції стохастичних моделей і нечітких графів. Показано, що створення гі-бридних моделей інтегрує переваги окремих моделей і виключає з розгляду недоліки цих моделей. Досліджено стохастичні та нечіткі гра-фи, які є модифікацією графічної моделі оцінювання і перегляду планів (ГЕРТ) та if/then-моделей. Дослідження моделей показало переваги та недоліки моделей, ефективність підходів підтверджено експериментально у географічних інформаційних системах.

Ключові слова: нечітка мережа Петрі, ГЕРТ-мережі, стохастичні та нечіткі графи, мережеві моделі

УДК 621.646-62-82:519.87

Математичне моделювання слідуючого приводу/ Таванюк Т. Я. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С.32–36. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Представлена типова нелінійна математична модель слідуючого приводу з дросельним регулюванням. Математична модель адаптована на приводи спеціального технологічного устаткування, побудовані на основі стандартних модулів, з використанням для оцінки динамічних характеристик паспортних даних пристроїв приводу. Дано рекомендації за завданням вихідних даних і вибору граничних даних умов для чисельного моделювання математичної системи. Представлена оцінка стійкості, якості регулювання та корекції динамічних властивостей приводу.

Ключові слова: слідуючий привід, електрогідравлічний підсилювач, математична модель, динамічні характеристики.

УДК 519.876.5:622.778

Математичні моделі збагачення для автоматизованих систем управління якістю дешламації магнетиту/ Міщенко В. О., Олевський В. І., Олевська Ю. Б. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С.36–40. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається математичне моделювання магнітної дешламації магнетиту, уживане для автоматизації технологічного процесу. Побудовано моделі: руху двофазної ламінарної осесиметричної течії та двофазної тривимірної вихрової течії на основі комплексу SolidWorks. Проведено чисельний розрахунок моделей, вивчені залежності якості збагачення від параметрів дешламації. Моделі дозволяють обґрунтувати інтенсивні технологічні режими і оптимальні параметри збагачувального устаткування. Отримані моделі можуть бути використані безпосередньо в системі автоматичного управління технологічним процесом збагачення.

Ключові слова: автоматизація, математична модель, магнітна дешламація, збагачення магнетиту.

УДК 656.072

Аналіз критеріїв оцінювання ефективності функціонування маршрутних систем міст/ Акбар Джан Полад/ Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С.41–44. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведено аналітичний огляд існуючих критеріїв оцінювання ефективності функціонування пасажирських маршрутних систем міст. Виявлено проблеми транспортного обслуговування населення міста Кабул і представлені шляхи їх вирішення. Запропоновано підхід до формування оціночного критерію, який враховує інтереси замовників послуг з транспортного обслуговування у містах. Результати дослідження можуть бути використані при проведенні заходів з удосконалення існуючих міських пасажирських маршрутних систем, а також при розробці нових їх варіантів.

Ключові слова: міський пасажирський транспорт, маршрутні системи міст, ефективність, витрати пасажирів на пересування.

УДК 006.91

Методика експрес-діагностики транспортного засобу за параметрами вібрації, напруги бортової мережі та системи запалювання/ Тиманюк К. С., Костенко В. Л., Поперека Е. Д. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С.44–52. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті наведено результати досліджень по створенню методики експрес-діагностики технічного стану двигуна транспортного засобу з використанням інформаційно-виміральної системи «Дельфин 1-М».

Розроблено алгоритм контролю двигуна з метою дослідження основних інформаційних параметрів. Проведено експериментальні дослідження двигуна. Наведено результати обробки експериментальних даних з використанням пакета MATLAB.

Ключові слова: експрес-діагностика, методика, двигун, транспортний засіб, інформаційно-вимірвальна система.

УДК 004.021

Прогноз ефективності коефіцієнта конверсії на основі логістичної регресії/ Савченкова А. Ю. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С.52–55. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті розглянуто оптимальне зберігання минулих даних. Розглянуто алгоритми для кращої конверсії запропоновані в майбутньому більш точні результати ймовірностей тієї чи іншої конкретної реклами. Розглянуто поєднання оцінок CTR за допомогою логістичної регресії. Наведено основні відомості про CTR оптимізацію. Дається опис ієрархічної моделі даних. В ієрархічній моделі автоматично підтримується цілісність посилань між предками і нащадками. Основне правило: ніякої нащадок не може існувати без свого батька. Також розглядаємо розрахунок ймовірності за допомогою логістичної регресії. За допомогою методу бінарної логістичної регресії можна досліджувати залежність дихотомічних змінних від незалежних змінних, що мають будь-який вид шкали.

Ключові слова: логістична регресія, RTB, CTR, дерева даних, коефіцієнт конверсії, CPC, рекламні мережі, ієрархії даних, DSP, CPA.

УДК 338.24.01

Регресійна модель собівартості електронних мультимедійних видань/ Ковальова К. О. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С.55–60. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Дана стаття присвячена побудові регресійних моделей собівартості електронних мультимедійних видань на підставі статистичних даних видавничого центру "Академія". У статті автор розглядає економетричні моделі двох типів - аддитивну і мультиплікативну. Кожна з моделей побудована прямим покроковим методом, на кожній ітерації якого методом найменших квадратів оцінювалися значення параметрів моделі, аналізувалися статистична значимість коефіцієнта при змінній, введеної на поточній ітерації, і значення скоригованого коефіцієнта множинної детермінації.

Ключові слова: економетрична модель, собівартість, електронні мультимедійні видання.

УДК 681.586:531.768:621.385.6

Розробка пристроїв на ПАХ для вимірювання лінійних та кутових переміщень. Частина 1./Жовнір М. Ф., Олійник О. О. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С.60–65. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядаються вимірвальні перетворювачі (ВП) на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) для вимірювання лінійних та кутових переміщень з формуванням точної, проміжної та грубої шкали на основі фазового набігання ПАХ на різних частотах. Описані конструктивні особливості складових елементів перетворювачів. Для демонстрації метрологічної цінності розроблених ВП приведені результати розрахунків чутливості, похибок, роздільної здатності та інших метрологічних параметрів. Результати описаних підходів вимірювання фазового зсуву можуть бути використані для подальшого проектування прецизійних пристроїв та систем позиціонування, а також перетворювачів з широким динамічним діапазоном лінійних та кутових надмалих переміщень.

Ключові слова: пристрої на ПАХ, перетворювачі переміщення, вимірювання фазового зсуву, прецизійне.

УДК 656.212:681.3

Вибір оптимального метода інтерполяції для побудови навигационных карт геофизической навигационной системы/ Прохорчук А. В., Кучерявенко И. О. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С.65–70. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматриваются сравнение существующих методов интерполяции для построения эталонных навигационных карт геофизических полей Земли с целью нахождения оптимального. Для сравнения методов используются их математические модели, моделирование происходит с помощью среды MathLab, на основе которого формулируются выводы оптимальности метода, опираясь на критерии оптимальности. Также рассматривается модификация полученного оптимального метода с целью улучшения его количественных характеристик. Результаты могут быть использованы для построения корреляционно - экстремальных навигационных систем, работающих по геофизическим полям Земли.

Ключевые слова: навигационные системы, геофизическое поле Земли, построение эталонных карт, методы интерполяции.

УДК 621.9.048

Вибір системи синхронізації електропривода довгомірних вібраційних верстатів/ Романченко О. В. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 52(1161). – С.71–75. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті проаналізовано функціональні та конструктивні особливості систем синхронізації вібраційних верстатів призначених для обробки деталей довгомірного типу. На основі аналізу інформаційних джерел встановлено, що доцільно застосування систем синхронізації без механічного зв'язку між електроприводами. Обрана система синхронізації електроприводів за схемою електричного вала з допоміжними асинхронними машинами одного довгомірного або декількох контейнерів вібраційного верстата. Характеристики обраної системи аналогічні характеристикам механічної системи синхронізації.

Ключові слова: електропривод, вібраційний верстат, контейнер, система синхронізації, електричний вал, деталь, вібробудник, асинхронні машини, ротор, статор.

УДК 657

Використання в якості робочого інструменту валкові калібри при обробці сферичних деталей/ Мелконов Г. Л. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 52(1161). – С.76–78. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті уточнено сутність і методи обробки валків калібрів, визначені режими різання і деякі види конструкцій ріжучих інструментів металорізальних верстатів і матеріали. Верстатне обладнання для механічної обробки прокатних валків підрозділяється на основне і допоміжне. До основного технологічного устаткування відносяться такі верстати які мають застосування безпосередньо в технологічному процесі промислового виготовлення гвинтових хвильових калібрів. До допоміжного устаткування такого роду відносяться верстати, призначені для виготовлення ріжучого інструменту, заточування інструменту і пристосувань.

Ключові слова: гвинтовий калібр, ріжучі інструменти, металорізальні верстати, матеріали, заточка, пристосування, хвильові калібри, прокатні валки.

УДК 536.423+532.528

Використання високочастотних гідродинамічних коливань для одержання водно-етанольних сумішей/ Шурчкова Ю. О., Дубовкіна І. О. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 52(1161). – С.79–82. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведений аналіз процесів, що мають місце в бінарних системах вода-етанол: гідратації, асоціації. Представлено дослідження властивостей водних систем оброблених методом дискретно-імпульсного введення енергії. Наведено результати експериментальних досліджень впливу високочастотних гідродинамічних коливань на фізико-хімічні параметри водних систем. Встановлено зниження вмісту розчиненого кисню у водно-етанольних сумішах. Сформульовано висновки, які мають практичну цінність для проведення подальших наукових досліджень у даному напрямку та розроблення рекомендацій для промислового виробництва.

Ключові слова: водно-етанольні суміші, дискретно-імпульсне введення енергії, знекиснення, високочастотні гідродинамічні коливання.

УДК 621.793.7

Адіабатична газодинамічна модель для спеціальної геометрії сопла холодного наплення низького тиску/ Каналес О., Литвинов А. А., Волков А. О., Маркович С. Є., Долматов А. І. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 52(1161). – С.82–87. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Вивчення газодинамічного процесу через сопло Лавала є одним з головних предметів для оптимізації технології холодної наплення. Вивчення газодинамічних характеристик процесу, як правило, проводиться через адіабатичні газодинамічні моделі та гідродинамічні обчислення. У даній роботі, представлена інноваційна адіабатична газодинамічна модель для розрахунку енергетичних параметрів потоку в соплі при використанні методу холодного наплення низького тиску. Адіабатична газодинамічна модель, представлена в цій роботі, призначена для вивчення неправильної геометрії сопла. Результати параметрів потоку газу через сопло використовуються для розрахунку швидкості частинок і температури комерційно доступних порошкоподібних матеріалів.

Ключові слова: газодинамічна модель, число Маха, процес холодного наплення, геометрія сопла.

УДК 665.383

Визначення раціональних умов фракційної кристалізації жирної коріандрової олії/ Калина В. С., Куниця К. В., Гладкий Ф. Ф., Луценко М. В., Литвиненко О. А. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 52(1161). – С.88–94. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Стаття присвячена визначенню раціональних умов фракціонування жирної коріандрової олії із розплаву. Визначено основні закономірності фракційної кристалізації олії. Отримано математичні описи залежності виходу цільової фракції і її температури плавлення від основних параметрів процесу, а саме: темпу охолодження та тривалості кристалізації. Встановлено, що в результаті процесу фракційної кристалізації жирної коріандрової олії одержано дві фракції: жир спеціального призначення відповідно до ДСТУ 4335:2004, а саме – хлібопекарського, та рідка фракція (рідка олійна), яка може бути застосована як олія салатна, як олія для консервної промисловості та мати інші харчові призначення.

Ключові слова: жирна коріандрова олія, фракційна кристалізація, температура плавлення, розплав, ортогональний центральний композиційний план.

УДК 621.3:622:519.24

Стратегія безпеки і можливість оптимізації параметрів безпеки вугільних шахт/ Кобилянський Б. Б., Мнухін А. Г. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 52(1161). – С.94–99. – Бібліогр.: 115 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті розглянута стратегія забезпечення безпеки вугільної промисловості яка базується початково на системі подання наукової інформації для галузі, що включає в себе облік наслідків аварій з оцінкою вартостей людських життів.

В рамках проведених досліджень показано, що подання осередку макросистеми, тобто безпосередньо шахти у вигляді ергатичного об'єкта, дає можливість оптимізації параметрів безпеки вугільних шахт з урахуванням конкретних характеристик застосованого в ній обладнання, причому всі згадані елементи розрахунків або управління мають будуватися виключно на комп'ютерній основі.

Ключові слова: макросистема, вугільні шахти, ергатичний об'єкт, оптимізація, безпека, ефективність роботи, управління вугільною шахтою

УДК 629.3

Проблеми розвитку виробничих процесів технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів на підприємствах автомобільного транспорту/ Волков В. П., Мастепан С. М., Фоменко І. М., Рижова В. Ю. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С.100–103. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається розвиток виробничого потенціалу підприємств автомобільного транспорту (ПАТ) в розрізі виробництва послуги ТО та Р транспортних засобів з конкретним рівнем якості. Для оцінки стану окремих складових ПАТ запропоновано виокремити та класифікувати ознаки виробничих процесів на ПАТ та обрати методи визначення якості окремих складових послуг як з внутрішнього середовища так і з зовнішнього. Результати досліджень можуть бути використані при прийнятті рішень стосовно подальшого розвитку виробничого потенціалу ПАТ.

Ключові слова: виробничий потенціал, якість, розвиток, виробничі процеси, послуга, споживачі, чинники, очікування.

УДК 53.082.539

Оцінка впливу основних конструкторсько-технологічних чинників на чутливість приладу на основі явища поверхневого плазмонного резонансу/ Дорожинский Г. В. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С.104–108. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається залежність чутливості приладу на основі поверхневого плазмонного резонансу від шорсткості поверхні металевого шару його чутливого елемента та довжини хвилі збудження поверхневих плазмонів. Встановлено, що зменшення шорсткості поверхні металевого шару та збільшення довжини хвилі викликає підвищення чутливості при вимірюванні зміни інтенсивності відбитого світла та зменшення чутливості при вимірюванні зсуву мінімуму характеристики відбиття. Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення існуючих та створення нових приладів на основі ППР.

Ключові слова: поверхневий плазмонний резонанс, чутливість, шорсткість поверхні, довжина хвилі випромінювання.

УДК 664.644.5.096.4:543.42

Особливості іммобілізації α -амілази на білкових та полісахаридних матрицях/ Дзюба Н. А., Землякова О. В. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С.108–112. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

В статті розглядається отримання біологічно активних добавок шляхом іммобілізації α -амілази на білкових та полісахаридних матрицях. В результаті іммобілізації α -амілази на матрицях утворюються зв'язки, які можна визначити за допомогою ІЧ-спектроскопії. Розглянута можливість використання ІЧ-спектроскопії для аналізу зв'язків при іммобілізації α -амілази на білковій та полісахаридній матрицях. Проведено глибокий аналіз зв'язків в молекулах матриць та форм іммобілізованого ферменту на різних матрицях. Визначено функціональні зв'язки за допомогою яких відбувається іммобілізація α -амілази на глютині та агарі.

Ключові слова: біологічно активні добавки, іммобілізація α -амілази, глютин, агар, ІЧ-спектроскопія, функціональні продукти.

УДК 669.295

Виплавка титанових сплавів (огляд)/ Червоний І. Ф., Голобородько С. А., Мамотенко В. І. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С.112–116. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Виконано аналіз технологій та технологічного обладнання для виплавки сплавів на основі титану з використанням металевого титану і титану з вторинної сировини. Виходячи з необхідних механічних і фізико-хімічних характеристик сплавів на основі титану визначені переважно доцільні напрями використання електронно-променевої та індукційної плавки різноманітного вихідної сировини із забезпеченням заданих властивостей кінцевого продукту.

При виробництві сплавів на основі титану передбачається обробка металевого титану у вигляді титанової губки або переробка титану з вторинної сировини - ломі і відходів промисловості.

Ключові слова: сплав, титан, електронно-променева плавка, індукційна плавка, плазмова плавка, вакуумно-дугова плавка, відходи, брухт, домішка

УДК 644.8:658.562.5

Дослідження етапів проектування енергоефективних ІЧ-сушарок/ Загорулько, А. М., Загорулько О. Є., Кіттела Л. В. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С.116–122. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У роботі представлені дослідження основних етапів проектування теплових апаратів, оскільки існуючі ІЧ-сушарки мають недоліки у вигляді великої продуктивності, тривалої теплової обробки, значною енерго- і металоємністю, а так само не забезпечують рівномірність теплових потоків на прийомних поверхнях. У зв'язку з цим виникає актуальність в детальному дослідженні етапів проектування сучасних автоматизованих енергоефективних ІЧ-сушарок періодичної і безперервної дії для виробництва високоякісних сушених напівфабрикатів з рослинної плодючої сировини.

Ключові слова: етапи, проектування, розробка, ІЧ-сушарка, рослинне плодюче сировину, оптимальна форма, рівномірність.

УДК 577.152.3 + 663.15

Встановлення технологічних режимів отримання іммобілізованого гідролітичного ферментного препарату/ Тодосійчук Т. С., Дуган О. М. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С.122–126. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Робота присвячена дослідженню технологічних режимів іммобілізації гідролітичного ферментного комплексу (ГФК) з *Streptomyces albus* адсорбційним методом на аеросилі. Встановлено вплив температури, концентрації носія (аеросилу марки А-300) та тривалості іммобілізації на ефективність процесу та активність ферментного комплексу. Досліджена можливість іммобілізації ферментного комплексу безпосередньо в ході біотехнологічного процесу та показано її переваги порівняно з адсорбцією з розчину готового ферментного препарату. Результати дослідження можуть бути використані при розробці нормативно-технічної документації на виробництво іммобілізованого гідролітичного ферментного препарату (ГФП).

Ключові слова: гідролітичні ферменти, іммобілізація, абсорбція, літична активність, параметри, ферментний препарат.

УДК 629.17

Відмови та безвідмовність вагонів як складові експлуатаційної надійності/ Мурадян Л. А. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С.127–130. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

На основі проведеного аналізу відмов вагонів і, зокрема, показника надійності – безвідмовності, сформульовано гіпотезу про існування центру ваги, який є визначальним для оцінки експлуатаційної надійності вагона. Такий центр ваги, у роботі найменовано коефіцієнтом експлуатаційної надійності вагона, який характеризує безпеку подальшої експлуатації вагонів на залізниці. На основі таких коефіцієнтів можна прогнозувати і констатувати значні економічні втрати, екологічні наслідки або загрозу людському життю. Крім того, в роботі, розроблена і приведена методика визначення коефіцієнта експлуатаційної надійності вагонів, використовуючи яку, можна врахувати застосування нових конструкцій та новітніх матеріалів.

Ключові слова: коефіцієнт експлуатаційної надійності вагонів, відмови, ймовірність безвідмовної роботи, залізничний транспорт.

УДК 629.5.065.5

Управління програмою навантаження зі спадковою технічною та економічною пам'яттю/ Савельєва О. С. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.130–134. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

У роботі розглядаються питання, пов'язані з процесами управління проектом та програмою навантаження транспортним засобом. До особливості таких проектів можна віднести наявність однотипності операцій, і як наслідку - часткової втрати проектної діяльності при переході між серійними проектами, а також прояв при цьому спадкових порушень плану програми. При управлінні програмою, що складається з послідовних проектів навантаження транспортних засобів у всіх функціональних областях поточного проекту залишається частково прихована інформація про попередні, відсутність обліку якої може призвести до небажаних наслідків під час транспортування вантажу.

Ключові слова: управління програмою та проектом, транспортування вантажу, спадкова технічна економічна пам'ять.

УДК 65.012.3: 316.422

Фрактальна розмірність як міра ступеня виродження проектної діяльності/ Становська І. І. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.134–140. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

Показано, що нагальною проблемою проектного менеджменту є запобігання трансформації творчої роботи по попередженню внутрішніх та зовнішніх викликів на технологічну діяльність. Розглянуто питання чисельної оцінки ступеня трансформації креативної проектної діяльності в рутинну операційну. Для цього запропоновано розглядати в процесах управління проектами фрактальність і досліджувати далі цей процес як фрактальний об'єкт. Виконано представлення процесу управління проектом у вигляді двовимірного стохастичного фрактального об'єкта. Результати роботи впроваджені в процес управління проектами з позитивним ефектом.

Ключові слова: проектна діяльність, проектний фрактал, розмірність Хаусдорфа, фрактальна розмірність, трансформація свободи.

УДК 621.331: 621.311.4

Підвищення якості та ефективності системи технічного обслуговування та ремонту обладнання тягових підстанцій/ Матусевич О. О. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.141–145. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В умовах критичності технологічних процесів і режимів роботи, залізниць в сучасних умовах експлуатації необхідно підвищення експлуатаційної надійності тягових підстанцій за рахунок вдосконалення системи технічного обслуговування і ремонту силового електрообладнання. Сучасні підходи вдосконалення системи обслуговування стосуються в основному методів контролю параметрів, в процесі діагностування технічного стану, і методів визначення призначеного ресурсу обладнання, а це можливо лише при розробці сучасних моделей, які дозволять визначити функцію напрацювання на відмову силового електрообладнання тягових підстанцій електрофіцирваних залізниць з урахуванням його індивідуальних особливостей.

Ключові слова: тягова підстанція, ремонт, обслуговування, модель, матриця

УДК 66.083.2:66-971:614.849

Оцінка екологічної небезпеки викидів парів нафтопродуктів при експлуатації резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів/ Гарбуз С. В., Ковальов О. О., Титаренко А. В. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.146–152. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглянуто причини і показана екологічна небезпека «великих» і «малих» подихів резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів. Представлені результати теоретичних розрахунків кількісної оцінки викидів парів нафтопродуктів, через дихальну арматуру резервуара, а також дані натурного експерименту з оцінки концентрацій парів бензину і дизельного палива в приземному шарі атмосфери при «великому диханні» резервуара РВС-5000. Обґрунтовано організаційно-технічні заходи, спрямовані на зниження екологічної небезпеки викидів парів нафтопродуктів з резервуарів.

Ключові слова: екологічна небезпека, світлі нафтопродукти, концентрація парів, викиди парів.

УДК 004.03:65-574.5

Організація захисту інформації в інформаційній системі визначення осередків токсичності біооб'єктів/ Руженцев В. І., Пашенко М. А., Порван А. П. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.152–156. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Робота присвячена організації захисту інформації в інформаційній системі визначення осередків токсичності водних біооб'єктів для унеможливлення несанкціонованого доступу до даних, що зберігаються в базі даних. Розглянуто основні методи захисту інформації та способи їх реалізації у відомих системах екологічного дистанційного моніторингу. Проаналізовано та обрано, що для забезпечення захисту від несанкціонованого доступу до бази даних, де зберігається вся інформація системи, з інших програмних продуктів та для обміну даними в зашифрованому вигляді використовується AES.

Ключові слова: база даних, водна екосистема, захист інформації, інформаційна система, симетричний алгоритм блочного шифрування

УДК 629.33:004.056

Аналіз інформаційної безпеки сучасного автомобіля/Маковецький А. В. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.156–161. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

Сучасні автомобілі являють собою складні технічні системи, оснащені електронними пристроями для поліпшення експлуатаційно-технічних властивостей. Стіяка тенденція збільшення кількості електронних пристроїв в сучасних автомобілях з провідним і бездротовим підключенням неминуче призводить до зростання вразливості, а значить - зниження безпеки та ефективності експлуатації.

Проведений аналіз дозволив виявити низку загроз інформаційної безпеки автоматизованих систем сучасних автомобілів, які призводять до необхідності розробки методів механічного та електронного захисту транспортних засобів.

Ключові слова: інформація, вразливість, захист, загроза, безпека, експлуатація, автомобіль.

УДК 504.03 / 628.3.03

Підвищення екологічної безпеки водних об'єктів в зоні впливу звалищ твердих побутових відходів/ Михайленко В. В. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.161–165. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Робота присвячена дослідженню технологічних заходів щодо підвищення рівня екологічної безпеки водних в зоні негативного впливу звалища твердих побутових відходів м. Маріуполя. Розроблені комплексні заходи щодо перешкодження потрапляння забрудненого фільтрату в підземні води та ріку Кальміус. Визначено оптимальні умови процесу анаеробного зброджування за яких ефективність очищення максимальна. Доведено ефективність застосування методу осадження для видалення заліза з фільтрату звалища ТПВ та шаруватих подвійних гідроксидів для сорбції фенолів. Визначено оптимальний склад нейтралізуючої суміші.

Ключові слова: екологічна безпека, звалище твердих побутових відходів, фільтрат, анаеробне зброджування, шаруваті подвійні гідроксиди.

РЕФЕРАТЫ

УДК 539.3

Об устойчивости трехслойных неоднородных стержней в нелинейно упругой среде/ Исаль Б. Э., Мамедли Р. Э. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 3–5. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье исследуется задача устойчивости трехслойных неоднородных прямолинейных стержней на нелинейно упругом основании под действием сжимающих нагрузок. Здесь предполагается, что стержень находится в неравномерном температурном поле и модули упругости материала слоев зависят от температуры. Для упругого основания принимается нелинейный модель и предполагается, что гипотеза плоских сечений справедлива для всей толщины элемента стержня. В общем виде получено уравнение устойчивости рассматриваемого стержня и для конкретного случая найдена формула для определения критической нагрузки.

Ключевые слова: трехслойный неоднородный стержень, температура, устойчивость, критическая нагрузка.

УДК 539.3

Устойчивость неоднородных нано-микро элементов на основе нелокальной теории упругости/ Исаев Ф. К., Раджабов В. Г. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 5–8. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

В представленной статье исследуется устойчивость неоднородных нано-микро элементов на основе не локальной теории упругости. Здесь как элемент конструкции принять прямолинейный стержень и для него принята теория стержней Эйлера-Бернулли. Предполагается, что модуль упругости материала стержня является непрерывной функцией координаты толщины. При получении уравнений устойчивости на основе теории стержня Эйлера-Бернулли был использован уравнения состояния нелокальной теории упругости предложенные Эрингеном. Для различных случаев граничных условий получены уравнения устойчивости рассмотренных стержней. После решения полученных уравнений найдены аналитические формулы для определения критической нагрузки и проведены различные анализы.

Ключевые слова: нано-микро элемент, неоднородный, теория стержней Эйлера-Бернулли, устойчивость, критическая нагрузка, нелокальная теория упругости

УДК 616-073.55, 616-073.582, 616-073.65

Особенности распределения температуры пленочного обогревателя на основе прозрачной электропроводящей пленки ИТО/ Маслов В. П., Литвин П. М., Тура Т. А., Корчовой А. А., Качур Н. В., Гуринов А. В. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 8–14. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Установлено, что напыленное магнетронным способом на стеклянный образец оконного флюота – стекла прозрачное электропроводящее ИТО покрытие может иметь топологическую структурную неоднородность толщины, шероховатости, размера зерен и механических напряжений, которая при нагревании проявляется в неравномерности температурного поля на нем. Рекомендуется в производстве оконного стекла с ИТО покрытием проводить поляризационный контроль механических напряжений в образцах готовой продукции.

Ключевые слова: тонкопленочный прозрачный нагреватель, нанопокрывается оксид «индия - олова», флюот-стекло, атомно-силовая микроскопия, термография, механические напряжения, поляризационный оптический контроль.

УДК 621.762

Структура и свойства композиций после спекания и горячего уплотнения/ Мамедов А. Т., Алиев Ч. А.

Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 14–18. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье приведены результаты исследований композиций «металлы-оксиды-связующее», получаемых холодным прессованием следующих компонентов: порошок железный, частицы оксида Fe_2O_3 , смола СОРЖ-3031, после чего композиции были подвергнуты дополнительным операциям. Для достижения высокой плотности прессовок были осуществлены три технологических варианта: спекание, горячее прессование и горячая осадка. Установлено, что уплотнение прессовок в этих операциях имеет сложный характер и зависит от доли оксида в составе композиций.

Ключевые слова: структура, свойства, композиция, спекание, прессование, усадка, оксидная фаза, водород

УДК: 621.373.826

Основные принципы фотонно-кристаллических волокон гироскопов/ Аль-Судани Хайдер А. М. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 18–23. – Бібліогр.: 25 назв. – ISSN 2079-5459.

Фотонно-кристаллические волокна играют главную роль в разработке новых волоконно-лазерных источников сверхкоротких световых импульсов и создания компонентов волоконного формата для контроля таких импульсов. Волоконно-оптический гироскоп – это одна из сфер применения оптических волокон, зависящая главным образом от эффекта Саньяка. Она принадлежит к важным сферам применения в области космической навигации. В этой статье мы предложили использовать фотонно-кристаллическое волокно с полым сердечником 1550 нм, Ø10 мкм в оптическом гироскопе. Фотонно-кристаллические волокна демонстрируют специфические свойства и возможности, которые приводят к огромному потенциалу для использования в области измерений.

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, эффект Саньяка, фотонно-кристаллическое волокно с полым сердечником

УДК 656.212:681.3

Расчет измерительных каналов вибрации для идентификации сложных промышленных агрегатов/ Мигушенко Р. П. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 24–27. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье рассматривается синтез измерительного канала вибрации и аналитический расчет его точностных характеристик. Показано, что для идентификации текущего функционального состояния сложных промышленных агрегатов, в условиях экспресс-контроля, наиболее целесообразно оценивать механическую вибрацию основных узлов таких агрегатов, а для измерения вибрации использовать пьезоэлектрические датчики. В статье разработана структура преобразования механической вибрации в электрический сигнал, проведены расчеты элементов измерительного канала. Результаты исследований использованы при контроле состояния двигателей танков Т-64.

Ключевые слова: промышленный агрегат, механическая вибрация, измерительный канал, погрешность измерения, экспресс-контроль.

УДК 519.71

Расширение сетевых моделей на основе интеграции стохастических и нечетких графов/ Кучеренко Е. И., Глушенкова И. С., Глушенко С. А. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 28–31. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрены расширения сетевых моделей на основе интеграции стохастических моделей и нечетких графов. Показано, что создание гибридных моделей интегрирует достоинства частных моделей и исключает из рассмотрения недостатки этих моделей. Исследованы стоха-

стические и нечеткие графы, которые являются модификацией графической модели оценки и пересмотра планов (ГЕПТ) и if/then-моделей. Исследование моделей показало достоинства и недостатки моделей, эффективность подходов подтверждена экспериментально в географических информационных системах.

Ключевые слова: нечеткая сеть Петри, ГЕПТ-сети, стохастические и нечеткие графы, сетевые модели

УДК 621.646-62-82:519.87

Математическое регулирование следящего привода/ Таванюк Т. Я. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С. 32–36. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Представлена типовая нелинейная математическая модель следящего привода с дроссельным регулированием. Математическая модель адаптирована на приводы специального технологического оборудования, построенные на основе стандартных модулей, с использованием для оценки динамических характеристик паспортных данных устройств привода. Даны рекомендации по заданию исходных данных и выбору граничных данных условий для численного моделирования математической системы. Представлена оценка устойчивости, качества регулирования и коррекции динамических свойств привода.

Ключевые слова: следящий привод, электрогидравлический усилитель, математическая модель, динамические характеристики.

УДК 519.876.5:622.778

Математические модели обогащения для автоматизированных систем управления качеством дещлакации магнетита/ Мищенко В. О., Олевский В. И., Олевская Ю. Б. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С. 36–40. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматривается математическое моделирование магнетита дещлакации, применимое для автоматизации технологического процесса. Построены модели движения двухфазного ламинарного осесимметричного течения и двухфазного трехмерного вихревого течения на основе комплекса SolidWorks. Проведен численный расчет моделей, исследованы зависимости качества обогащения от параметров дещлакации. Модели позволяют обосновать интенсивные технологические режимы и оптимальные параметры обогатительного оборудования. Полученные модели могут быть использованы непосредственно в системе автоматического управления технологическим процессом обогащения.

Ключевые слова: автоматизация, математическая модель, магнитная дещлакация, обогащение магнетита.

УДК 656.072

Анализ критериев оценки эффективности функционирования маршрутных систем городов/ Акбар Джан Полад Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С. 41–44. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведен аналитический обзор существующих критериев оценки эффективности функционирования пассажирских маршрутных систем городов. Выявлены проблемы транспортного обслуживания населения города Кабул и представлены пути их решения. Предложен подход к формированию оценочного критерия, который учитывает интересы заказчиков услуг по транспортному обслуживанию в городах. Результаты исследования могут быть использованы при проведении мероприятий по усовершенствованию существующих городских пассажирских маршрутных систем, а также при разработке новых их вариантов.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, маршрутные системы городов, эффективность, затраты пассажиров на перемещение.

УДК 006.91

Методика экспресс-диагностики транспортного средства по параметрам вибрации, напряжения бортовой сети и системы зажигания/ Тыманюк К. С., Костенко В. Л., Поперека Е. Д. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С. 44–52. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье представлены результаты исследований по созданию методики экспресс-диагностики технического состояния двигателя транспортного средства с использованием информационно-измерительной системы «Дельфин 1-М».

Разработан алгоритм контроля двигателя с целью исследования основных информационных параметров. Проведены экспериментальные исследования двигателя. Приведены результаты обработки экспериментальных данных с использованием пакета MATLAB.

Ключевые слова: экспресс-диагностика, методика, двигатель, транспортное средство, информационно-измерительная система

УДК 004.021

Прогноз эффективности коэффициента конверсии на основе логистической регрессии/ Савченкова А. Ю. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С. 52–55. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье рассмотрено оптимальное хранение прошлых данных. Рассмотрены алгоритмы для лучшей конверсии предложены в будущем более точные результаты вероятностей той или иной конкретной рекламы. Рассмотрены сочетания оценок CTR с помощью логистической регрессии. Приведены основные сведения про CTR оптимизацию. Дается описание иерархической модели данных. В иерархической модели автоматически поддерживается целостность ссылок между предками и потомками. Основное правило: никакой потомок не может существовать без своего родителя. Также рассматриваем расчёт вероятности с помощью логистической регрессии. С помощью метода бинарной логистической регрессии можно исследовать зависимость дихотомических переменных от независимых переменных, имеющих любую вид шкалы.

Ключевые слова: логистическая регрессия, RTB, CTR, деревья данных, коэффициент конверсии, CPC, рекламные сети, иерархии данных, DSP, CPA.

УДК 338.24.01

Регрессионная модель себестоимости электронных мультимедийных изданий/ Ковалева Е. А. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С. 55–60. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Данная статья посвящена построению регрессионных моделей себестоимости электронных мультимедийных изданий на основании статистических данных издательского центра "Академия". В статье автор рассматривает эконометрические модели двух типов – аддитивную и мультипликативную. Каждая из моделей построена прямым пошаговым методом, на каждой итерации которого методом наименьших квадратов оценивались значения параметров модели, анализировались статистическая значимость коэффициента при переменной, введенной на текущей итерации, и значение скорректированного коэффициента множественной детерминации.

Ключевые слова: эконометрическая модель, себестоимость, электронные мультимедийные издания.

УДК 681.586:531.768:621.385.6

Разработка устройств на ПАВ для измерения линейных и угловых перемещений. Часть 1/ Жовнир Н. Ф., Олейник О. О. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 52(1161). – С. 60–65. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматриваются измерительные преобразователи (ИП) на поверхностных акустических волнах (ПАВ) для измерения линейных и угловых перемещений с формированием точной, промежуточной и грубой шкал на основе фазового набега ПАВ на разных частотах. Описанные конструктивные особенности составляющих элементов преобразователей. Для демонстрации метрологической ценности разработанных ИП приведены результаты расчетов чувствительности, погрешностей, разрешающей способности и других метрологических параметров. Результаты описанных подходов измерения фазового сдвига могут быть использованы для дальнейшего проектирования прецизионных устройств и систем позиционирования, а также преобразователей с широким динамическим диапазоном линейных и угловых сверхмалых перемещений.

Ключевые слова: устройства на ПАВ, преобразователи перемещения, измерение фазового сдвига, прецизионное позиционирование.

УДК 656.212:681.3

Выбор оптимального метода интерполяции для построения навигационных карт геофизической навигационной системы/ Прохорчук А. В., Кучерявенко И. О. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 65–70. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматривается сравнение существующих методов интерполяции для построения эталонных навигационных карт геофизических полей Земли с целью нахождения оптимального. Для сравнения методов используются их математические модели, моделирование происходит с помощью среды MathLab, на основе которого формулируются выводы оптимальности метода, опираясь на критерии оптимальности. Также рассматривается модификация полученного оптимального метода с целью улучшения его количественных характеристик. Результаты могут быть использованы для построения корреляционно - экстремальных навигационных систем, работающих по геофизическим полям Земли.

Ключевые слова: навигационные системы, геофизическое поле Земли, построение эталонных карт, методы интерполяции.

УДК 621.9.048

Выбор системы синхронизации электропривода длинномерных вибрационных станков/ Романченко А. В. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 71–75. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье проанализированы функциональные и конструктивные особенности систем синхронизации вибрационных станков предназначенных для обработки деталей длинномерного типа. На основе анализа информационных источников установлено, что целесообразно применение систем синхронизации без механической связи между электроприводами. Выбрана система синхронизации электроприводов по схеме электрического вала со вспомогательными асинхронными машинами одного длинномерного или нескольких контейнеров вибрационного станка. Характеристиками выбранной системы аналогичны характеристикам механической системы синхронизации.

Ключевые слова: электропривод, вибрационный станок, контейнер, система синхронизации, электрический вал, деталь, вибровозбудитель, асинхронные машины, ротор, статор.

УДК 657

Использование в качестве рабочего инструмента валковые калибры при обработке сферических деталей/ Мелконов Г. Л. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 76–78. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье уточнены сущность и методы обработки валковых калибров, определены режимы резания и некоторые виды конструкций режущих инструментов металлорежущих станков и материалы. Станочное оборудование для механической обработки прокатных валков подразделяется на основное и вспомогательное. К основному технологическому оборудованию относятся такие станки которые имеют применение непосредственно в технологическом процессе промышленного изготовления винтовых волновых калибров. К вспомогательному оборудованию такого рода относятся станки, предназначенные для изготовления режущего инструмента, заточки инструмента и приспособлений.

Ключевые слова: винтовой калибр, режущие инструменты, металлорежущие станки, материалы, заточка, приспособление, волновые калибры, прокатные валки.

УДК 536.423+532.528

Использование высокочастотных гидродинамических колебаний для получения водно-этанольных смесей/ Шурцкова Ю. А., Дубовкина И. А. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 79–82. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Выполнен анализ процессов, которые происходят в бинарных системах воды-этанол: гидратации, ассоциации, образования водородных связей. Представлены исследования свойств водных систем, а именно водно-этанольных смесей, обработанных методом дискретно-импульсного ввода энергии. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния высокочастотных гидродинамических колебаний на физико-химические параметры водных систем. Установлено снижение количества растворенного кислорода в водно-этанольных смесях. Сформулированы выводы, имеющие практическую ценность для проведения дальнейших исследований в данном направлении и разработки рекомендаций для промышленного внедрения.

Ключевые слова: водно-этанольные смеси, дискретно-импульсный ввод энергии, обескислороживание, высокочастотные гидродинамические колебания.

УДК 621.793.7

Адиабатическая газодинамическая модель для специфической геометрии сопла холодного напыления низкого давления/ Каналес О., Литвинов А. А., Волков А. О., Маркович С. Е., Долматов А. И. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 82–87. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Изучение газодинамических характеристик процесса, как правило, проводится через адиабатические газодинамические модели и гидродинамические вычисления. В данной работе, представлена инновационная адиабатическая газодинамическая модель для расчета энергетических параметров потока в сопле при использовании метода холодного напыления низкого давления. Адиабатическая газодинамическая модель, представленная в этой работе, предназначена для изучения неправильной геометрии сопла. Результаты параметров потока газа через сопло используются для расчета скорости частиц и температуры коммерчески доступных порошкообразных материалов.

Ключевые слова: газодинамическая модель, число Маха, процесс холодного напыления, геометрия сопла.

УДК 665.383

Определение рациональных условий фракционной кристаллизации жирного кориандрового масла/ Калина В. С., Куница Е. В., Гладкий Ф. Ф., Луценко М. В., Литвиненко Е. А. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 88–94. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Статья посвящена определению рациональных условий фракционирования жирного кориандрового масла из расплава. Определены основные закономерности фракционной кристаллизации масла. Получены математические описания зависимости выхода целевой фракции и ее температуры плавления от основных параметров процесса, а именно: темпа охлаждения и продолжительности кристаллизации. Установлено, что в результате процесса фракционной кристаллизации жирного кориандрового масла получено две фракции: жир специального

назначения, который соответствует ДСТУ 4335:2004, а именно – хлебопекарного, и жидкая фракция, которая может быть использована в качестве масла салатного или масла для консервной промышленности и иметь другое пищевое назначение.

Ключевые слова: фракционная кристаллизация, жирное кориандровое масло, расплав, температура плавления, ортогональный центрально-композиционный план

УДК 621.3:622:519.24

Стратегия безопасности и возможность оптимизации параметров безопасности угольных шахт /Кобылянский Б. Б., Мнухин А. Г. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 94–99. – Бібліогр.: 115 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье рассмотрена стратегия обеспечения безопасности угольной промышленности которая базируется исходно на системе представления научной информации для отрасли, включающей в себя учет последствий аварий с оценкой стоимостей человеческих жизней.

В рамках проведенных исследований показано, что представление ячейки макросистемы, т.е. непосредственно шахты в виде эргатического объекта, дает возможность оптимизации параметров безопасности угольных шахт с учетом конкретных характеристик применяемого в ней оборудования, причем все упомянутые элементы расчетов или управления должны строиться исключительно на компьютерной основе.

Ключевые слова: макросистема, угольные шахты, эргатический объект, оптимизация, безопасность, эффективность работы, управления угольной шахтой

УДК 629.3

Проблемы развития производственных процессов технического обслуживания и ремонта транспортных средств на предприятиях автомобильного транспорта/ Волков В. П., Мاستепан С. М., Фоменко И. М., Рыжова В. Ю. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 100–103. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматривается развитие производственного потенциала предприятий автомобильного транспорта (ПАТ) в разрезе производства услуги ТО и Р транспортных средств с конкретным уровнем качества. Для оценки состояния отдельных составляющих ПАТ предложено выделить и классифицировать признаки производственных процессов на ПАТ и выбрать методы определения качества отдельных составляющих услуг как из внутренней среды так и наружной. Результаты исследований могут быть использованы при принятии решений относительно дальнейшего развития производственного потенциала ПАТ.

Ключевые слова: производственный потенциал, качество, развитие, производственные процессы, услуга, потребители, факторы, ожидания.

УДК 53.082.539

Оценка влияния основных конструкторско-технологических факторов на чувствительность прибора на основе явления поверхностного плазмонного резонанса/ Дорожинский Г. В. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 104–108. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматривается зависимость чувствительности прибора на основе поверхностного плазмонного резонанса от шероховатости поверхности металлического слоя его чувствительного элемента и длины волны возбуждения поверхностных плазмонов. Установлено, что уменьшение шероховатости поверхности металлического слоя и увеличение длины волны вызывает повышение чувствительности при измерении изменения интенсивности отраженного света и уменьшения чувствительности при измерении сдвига минимума характеристики отражения. Результаты исследований могут быть использованы для совершенствования существующих и создания новых приборов на основе поверхностного плазмонного резонанса.

Ключевые слова: поверхностный плазмонный резонанс, чувствительность, шероховатость поверхности, длина волны излучения.

УДК 664.644.5.096.4:543.42

Особенности иммобилизации α -амилазы на белковых и полисахаридных матрицах / Дзюба Н. А., Землякова Е. В. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 108–112. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье рассматривается получения биологически активных добавок путем иммобилизации α -амилазы на белковых и полисахаридных матрицах. В результате иммобилизации α -амилазы на матрицах образуются связи, которые можно определить с помощью ИК-спектроскопии. Рассмотрена возможность использования ИК-спектроскопии для анализа связей при иммобилизации α -амилазы на белковой и полисахаридной матрицах. Проведен глубокий анализ связей в молекулах матриц и форм иммобилизованных фермента на разных матрицах. Определены функциональные связи с помощью которых происходит иммобилизация α -амилазы в глютин и агаре.

Ключевые слова: биологически активные добавки, иммобилизация α -амилазы, глютин, агар, ИК-спектроскопия, функциональные продукты.

УДК 669.295

Выплавка титановых сплавов (обзор)/ Червоный И. Ф., Голобородько Е. А., Мамотенко В. И. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 112–116. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Выполнен анализ технологий и технологического оборудования для выплавки сплавов на основе титана с использованием металлического титана и титана из вторичного сырья. Исходя из требуемых механических и физико-химических характеристик сплавов на основе титана определены преимущественно целесообразные направления использования электронно-лучевой и индукционной плавки различного исходного сырья с обеспечением заданных свойств конечного продукта.

При производстве сплавов на основе титана предусматривается обработка металлического титана в виде титановой губки или переработка титана из вторичного сырья – лома и отходов промышленности.

Ключевые слова: сплав, титан, электронно-лучевая плавка, индукционная плавка, плазменная плавка, вакуумно-дуговая плавка, отходы, лом, примесь

УДК 644.8:658.562.5

Исследование этапов проектирования энергоэффективных ИК-сушилок/ Загорюлько, А. Н., Загорюлько А. Е., Киптелея Л. В. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 52(1161). – С. 116–122. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В работе представлены исследования основных этапов проектирования тепловых аппаратов, поскольку существующие ИК-сушилки имеют недостатки в виде большой производительности, длительной тепловой обработки, значительной энерго- и металлоемкостью, а так же не обеспечивают равномерность тепловых потоков на приемных поверхностях. В связи с этим возникает актуальность в детальном исследовании этапов проектирования современных автоматизированных энергоэффективных ИК-сушилок периодического и непрерывного действия для производства высококачественных сушеных полуфабрикатов из растительного плодоягодного сырья.

Ключевые слова: этапы, проектирование, разработка, ИК-сушилка, растительное плодоягодное сырье, оптимальная форма, равномерность.

УДК 577.152.3 + 663.15

Установление технологических режимов получения иммобилизованного гидролитического ферментного препарата/ Тодосийчук Т. С., Дуган А. М. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 122–126. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Работа посвящена исследованию технологических режимов иммобилизации гидролитического ферментного комплекса (ГФК) из *Streptomyces albus* адсорбционным методом на аэросиле. Установлено влияние температуры, концентрации носителя (аэросила марки А-300) и длительности иммобилизации, на эффективность процесса и активность ферментного комплекса. Исследована возможность иммобилизации ферментного комплекса непосредственно в ходе биотехнологического процесса и показаны ее преимущества по сравнению с адсорбцией из раствора готового ферментного препарата. Результаты исследования могут быть использованы при разработке нормативно-технической документации на производство иммобилизованного гидролитического ферментного препарата (ГФП).

Ключевые слова: гидролитические ферменты, иммобилизация, абсорбция, литическая активность, параметры, ферментный препарат.

УДК 629.17

Отказы и безотказность вагонов как составляющие эксплуатационной надежности/ Мурадян Л. А. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.127–130. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

На основе проведенного анализа отказов вагонов и, в частности, показателя надежности - безотказности, сформулирована гипотеза о существовании центра тяжести, который является определяющим для оценки эксплуатационной надежности вагона. Такой центр тяжести, в работе наименован коэффициентом эксплуатационной надежности вагона, характеризующий опасности дальнейшей эксплуатации вагонов на железной дороге. На основе таких коэффициентов можно прогнозировать и констатировать значительные экономические потери, экологические последствия или угрозу человеческой жизни. Кроме того, в работе, разработана и приведена методика определения коэффициента эксплуатационной надежности вагонов, используя которую, можно учесть применение новых конструкций и новейших материалов.

Ключевые слова: коэффициент эксплуатационной надежности вагонов, отказа, вероятность безотказной работы, железнодорожный

УДК 629.5.065.5

Управление программой нагружения с наследственной технической и экономической памятью/ Савельева О. С. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.130–134. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

В работе рассматриваются вопросы, связанные с процессами управления проектом или программой нагружения транспортным средством. К особенностям таких проектов можно отнести наличие однотипности операций, и как следствия – частичной потери проектной деятельности при переходе между серийными проектами, а также проявление при этом наследственных нарушений плана программы. При управлении программой, состоящей из последовательных проектов нагружения транспортных средств во всех функциональных областях текущего проекта остается частично скрытая информация о предыдущих, отсутствие учета которой может привести к нежелательным последствиям во время транспортировки груза.

Ключевые слова: управление программой и проектом, транспортировка груза, наследственная техническая экономическая память.

УДК 65.012.3: 316.422

Фрактальная размерность как мера степени вырождения проектной деятельности/ Становская И. И. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.134–140. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

Показано, что насущной проблемой проектного менеджмента является предотвращение трансформации творческой работы по предупреждению внутренних и внешних вызовов на технологическую деятельность. Рассмотрены вопросы численной оценки степени трансформации креативной проектной деятельности в рутинную операционную. Для этого предложено рассматривать в процессах управления проектами фрактальность и исследовать дальше этот процесс как фрактальный объект. Выполнено представление процесса управления проектом в виде двухмерного стохастического фрактального объекта. Результаты работы внедрены в процесс управления проектами с положительным эффектом.

Ключевые слова: проектная деятельность, проектный фрактал, размерность Хаусдорфа, фрактальная размерность, трансформация свободы.

УДК 621.331: 621.311.4

Повышение качества и эффективности системы технического обслуживания и ремонта оборудования тяговых подстанций/ Матусевич А. А. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.141–145. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В условиях критичности технологических процессов и режимов работы, железных дорог в современных условиях эксплуатации необходимо повышение эксплуатационной надежности тяговых подстанций за счет совершенствования системы технического обслуживания и ремонта силового электрооборудования. Современные подходы совершенствования системы обслуживания касаются в основном методов контроля параметров, в процессе диагностирования технического состояния, и методов определения назначенного ресурса оборудования, а это возможно лишь при разработке современных моделей, которые позволят определить функцию наработки на отказ силового электрооборудования тяговых подстанций электрифицированных железных дорог с учетом его индивидуальных особенностей.

Ключевые слова: тяговая подстанция, ремонт, обслуживание, модель, матрица

УДК 66.083.2:66-971:614.849

Оценка экологической опасности выбросов паров нефтепродуктов при эксплуатации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов/ Гарбуз С. В., Ковалёв А. А., Титаренко А. В. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 146–152. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрены причины и показана экологическая опасность «больших» и «малых» дышаний резервуаров хранения светлых нефтепродуктов. Представлены результаты теоретических расчетов количественной оценки выбросов паров нефтепродуктов, через дыхательную арматуру резервуара, а также данные натурного эксперимента по оценке концентраций паров бензина и дизельного топлива в приземном слое атмосферы при «большом дыхании» резервуара РВС-5000. Обоснованы организационно-технические меры, направленные на снижение экологической опасности выбросов паров нефтепродуктов из резервуаров.

Ключевые слова: экологическая опасность, светлые нефтепродукты, концентрация паров, выбросы паров.

УДК 004.03:65-574.5

Организация защиты информации в информационной системе определения очагов токсичности биообъектов/ Руженцев В. И., Пашенко М. А., Порван А. П. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С. 152–156. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Работа посвящена организации защиты информации в информационной системе определения очагов токсичности водных биообъектов для предотвращения несанкционированного доступа к данным, которые поступают, хранятся и передаются в системе. Рассмотрены основные методы защиты и способы их реализации в известных системах экологического дистанционного мониторинга. Проанализирован и выбран алгоритм, для обеспечения защиты от несанкционированного доступа к базе данных, где хранится вся информация системы, с других программных продуктов и для обмена данными в зашифрованном виде, использовать AES.

Ключевые слова: база данных, водная экосистема, защита информации, информационная система, симметричный алгоритм блочного шифрования.

УДК 629.33:004.056

Анализ информационной безопасности современного автомобиля /Маковецкий А. В. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.156–161. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

Современные автомобили представляют собой сложные технические системы, оснащенные электронными устройствами для улучшения эксплуатационно-технических свойств. Устойчивая тенденция увеличения количества электронных устройств в современных автомобилях с проводным и беспроводным подключением неизбежно приводит к росту уязвимостей, а значит – снижению безопасности и эффективности эксплуатации.

Проведенный анализ позволил выявить ряд угроз информационной безопасности автоматизированных систем современных автомобилей, которые приводят к необходимости разработки методов механической и электронной защиты транспортных средств.

Ключевые слова: информация, уязвимость, защита, угроза, безопасность, эксплуатация, автомобиль.

УДК 504.03 / 628.3.03

Повышение экологической безопасности водных объектов в зоне влияния свалки твердых бытовых отходов/ Михайленко В. В. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 52(1161). – С.161–165. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Работа посвящена исследованию технологически по повышению уровня экологической безопасности водных в зоне негативного воздействия свалки твердых бытовых отходов г. Мариуполя. Разработаны комплексные меры относительно предотвращения попадания загрязненного фильтрата в подземные воды и реку Кальмиус. Определены оптимальные условия процесса анаэробного сбраживания при которых эффективность очистки максимальна. Доказана эффективность применения метода осаждения для удаления железа из фильтрата свалки ТБО и слоистых двойных гидроксидов для сорбции фенолов. Определен оптимальный состав нейтрализующей смеси.

Ключевые слова: экологическая безопасность, свалка твердых бытовых отходов, фильтрат, анаэробное сбраживание. слоистые двойные гидроксиды.

ABSTRACTS

UDC 539.3

The stability of nonhomogeneous three-layered rods in nonlinear elastic foundation/ Isali B. E., Mamedli R. E. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 3–5. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

We study the problem of three-layered nonhomogeneous rectilinear rods on a nonlinear elastic foundation under the pressure of compressive loads in this article. It is assumed that the rod is in the uneven temperature field and the elasticity modules of the material layers depend on temperature.

For the elastic foundation of nonlinear model is accepted and it is assumed that the hypothesis of plane sections is valid for the entire thickness of the element of the rod. In general, we achieve the steadiness equation of the considered rod, and a formula is found for determining the critical load in the certain case. The solution of the problem is obtained by the Bubnov-Galerkin method for a specific case of inhomogeneity of the material layers of the rod made calculations and built specific graphics. Numerical calculations show that the neglect of the inhomogeneity of the material layers can lead to significant errors in the determination of critical materials

Keywords: nonhomogeneous two-layered rod, temperature, stability, critical load.

UDC 539.3

The stability of nonhomogeneous nano –micro elements based on nonlocal elasticity theory eringen/ Isayev F. K., Radjabov V. G. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 5–8. – Bibliogr.: 15. – ISSN 2079-5459.

In this article, the bending and stability analysis of nonhomogeneous nano and micro elements have been made by using the nonlocal elasticity theory. Beam has been chosen as the structural model type. Euler-Bernoulli beam theories have been used for beam theories. The motion equations of Euler-Bernoulli beam theories were expressed by using nonlocal elasticity theory, which was proposed by Eringen. According to different boundary conditions, the bending and stability equations of micro-nano beam have been generated then, in order to observe the effect of non local behavior, analysis have been made over carbon nanotube and microtubules and results have been compared with the classical theory. After solving the equations obtained Analytical formulas for determining critical load and held various analysis. Analysis numerical calculations shows that the heterogeneity of the material properties of the element can have a significant impact on the critical parameters of the element.

Keywords: nonlocal elasticity theory, nano - micro elements, nonhomogeneous, Euler-Bernoulli beam theories, stability, critical force.

UDC 616-073.55, 616-073.582, 616-073.65

Features temperature distribution film heater based transparent conductive film ITO/ Maslov V. P., Lytvyn P. M., Tour T. A., Korchova A. A., Kachur N. V., Gurin A. V. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 8–14. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Thin-film transparent conductive coating on the glass surface of the tin oxide and indium (ITO) used in microelectronics and the "solar" energy. It used as a heat reflecting coating for glass in the utilities sector, which is a decrease due to heat radiation from the household premises on the street. The aim of research was to determine the presence of topological heterogeneity of thickness ITO and influence on his work as a heater on samples windowpane larger size than the common parts of optoelectronic devices. Research carry out on modern measuring equipment using a thermal imager, pyrometers, atomic force microscope and original methods polarimetry. It was found that the magnetron sputtered way to sample a glass window float - glass transparent conductive ITO coating may have topological structural heterogeneity of thickness, roughness, grain size and mechanical stresses which, when heated, is manifested in the uneven temperature field on it. It is recommended in the production of window glass coated with ITO for polarization control of mechanical stresses in samples of finished products.

Keywords: transparent thin film heater, nanocoating oxide "indium - tin" float - glass, atomic force microscopy, thermography, mechanical stress, polarizing optical control.

UDC 621.762

Starcure and properties of the compositions after specia and hot seal / Mamedov A. T., Aliyev Ch. A. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 14–18. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

In article results of research of the songs "metal-oxide-binder", obtained by cold pressing the following components: iron powder, the particles of the oxide Fe₂O₃, resin SORGES-3031, then the compositions were subjected to additional operations. To achieve high density compacts were carried out three technology options: sintering, hot pressing and hot sludge. It is established that the seal compacts in these operations is complex and depends on the amount of oxide in the compositions.

Keywords: structure, properties, composition, sintering, molding, shrinkage, draft, oxide phase, hydrogen

UDC: 621.373,826

Significant photonic crystal fiber gyroscopes/ Al-Sudani Haider A. M. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 18–23. – Bibliogr.: 25. – ISSN 2079-5459.

Photonic crystal fibers play a major role in the development of new fiber-laser sources of ultrashort light pulses and the establishment of the components of the fiber size to control such impulses. The fiber optic gyroscope - it is one of the applications of optical fibers, which depends mainly on the Sagnac effect. It belongs to the important areas of application in the field of satellite navigation. In this paper, we proposed the use of photonic crystal fiber with a hollow core 1550nmλ, Ø10 mm optical gyroscope. In the Fiber-optic gyroscope, an optical fiber is used as the medium of propagation for the light. Two beams are again propagating through the fiber in opposite directions. Due to the Sagnac effect, the beam travelling against the rotation experiences a slightly shorter path delay than the other beam. Photonic crystal fibers exhibit the specific features and capabilities that lead to enormous potential for use in the field measurements.

Keywords: fiber optic gyroscope, Sagnac effect, photonic crystal fiber with a hollow core

UDC 681.518.54

Calculation of vibration measuring channels for the identification of complex industrial machinery/Mygushchenko R. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 24–27. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Improving the quality and operational reliability of any technological and technically complex industrial products, especially if the latest energy-dynamic properties and is impossible without improvement of methods, devices and information technologies for monitoring and measuring of functional diagnostics. This raises complex scientific problem whose solution is defined as the volume and accuracy of obtaining primary measurement data, and correctness of the latest changes to logical conclusions regarding the actual technical state of the object.

One of the most important scientific and technical problems in assessing the state of industrial object is to get primary measuring information that uniquely characterizes its current state. For the vast majority of industrial units such information is mechanical vibration. Technical aspects of receiving, processing and conversion of mechanical vibration devoted to this article.

In the article the synthesis channel vibration measurement and analytical calculation of its accuracy characteristics. It is shown that to identify the current functional status of complex industrial units, in a rapid monitoring to assess the most appropriate mechanical vibration basic units of aggregates and measuring vibrations using piezoelectric sensors. The article elaborated structure transformation of mechanical vibrations into an electrical signal, the calculations elements measuring channel. Research results used in the control condition of tanks T-64.

Keywords: industrial machinery, mechanical vibration measuring channel, measurement uncertainty, express check.

UDC 519.71

Extensions of network models based on the integration of stochastic and fuzzy graphs/ Kucherenko Ye. I., Glushenkova I. S., Glushenkov S. A. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161). – P. 28–31. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-5459.

The paper solves the problem of expansion of network models based on the integration of stochastic models and fuzzy graphs. The object of the work is the processes of state estimation of spatially distributed objects. Scope of the work is expanding network models based on the integration of network and fuzzy graphs. The aim is to decrease the level of uncertainty and improving the efficiency of software applications based on the process modeling new hybrid models. It is proposed a hybrid model in the form of fuzzy Petri nets which is based on stochastic graphs. This model allows reducing the level of uncertainty without a significant increase in computational complexity. It is proved that the creation of hybrid models integrates the advantages of partial models and excludes from consideration the shortcomings of these models. It is studied the stochastic and fuzzy graphs. Stochastic graphs are a modification of the graphical model of evaluation and revision of plans (GERT), fuzzy graphs are extensions of if / then-models. It defines a set of restrictions on the use of stochastic and fuzzy graphs. It has been done the experimental research models which showed the advantages and disadvantages of models. Effective approach is confirmed experimentally in geographical information systems. Prospects for further research is the adaptation of structures to a wide class of problems on the set of alternatives. The works on implementation of software applications.

Keywords: fuzzy Petri net, GERT-networks, stochastic and fuzzy graphs, network models.

UDC 621.646-62-82:519.87

Mathematical modeling of servo drives/ Tavanyuk T. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161). – P. 32–36. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Consider a typical non-linear mathematical model of the servo with the throttle control, taking into account the non-stationary processes. The model has a minimum set of input parameters and is universal for drives, built on the template. However, taking into account the main nonlinearities gives a noticeable gain in calculation accuracy than linear models. This is confirmed by results of numerical modeling of transient processes at different levels of input signals. Recommendations on the initial data shown and the choice of the boundary conditions data for the numerical simulation of a mathematical system. It provides an assessment of sustainability, quality control and correction of the dynamic properties of the drive. Mathematical model is adapted to control the special technological equipment based on standard modules are used to estimate the dynamic characteristics of the passport data of the drive.

Keywords: servo drive, electrohydraulic power, mathematical model, dynamic characteristics, special equipment, numerical simulation, non-stationary processes, the design scheme, stability, transmission coefficients.

UDC 519.876.5:622.778

Mathematical models of enrichment process designed for automated quality control systems of magnetite desliming/ Mishchenko V., Olevskiy V., Olevska Y. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161). – P. 36–40. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The article deals with construction of mathematical models of the process of magnetite desliming. Built models should be suitable for use in automated systems for process control.

The results of the study are models of the motion of two-phase slurry in the case of an axisymmetric two-dimensional and three-dimensional vortex flow of the pulp. To calculate the three-dimensional flow and particle trajectories the applications Flow Simulation was used from package SolidWorks. We also developed a method of imitating the numerical experiment to determine the dependence of the enrichment's quality from the process parameters and the shape of the desliming machine.

The results of calculations allow us to estimate the impact of technological and structural factors on the quality of the magnetite enrichment.

The practical value of the results is the possibility of direct use of models in the automated control systems enrichment processes.

Keywords: automation, mathematical model, magnetic desliming, enrichment of magnetite.

UDC 656.072

Analysis of criteria to evaluate the performance of urban route systems/ Akbar Jan Polad Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161). – P. 41–44. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The article deals with the study to substantiate and select the criteria for evaluating the performance of urban mass transit.

The basic result of the study is the option criterion for evaluating the performance of urban passenger route network that takes into account the peculiarities of transport service in the city of Kabul of the Islamic State.

The scientific breakthrough of the research is to develop an approach to make the evaluation criteria that consists of the following major stages: selection of the target segment; determination of the partial performance criteria for each customer; presentation of the general performance criterion.

The practical significance of the research results is the possibility of using the approach developed to make the criteria for evaluating the efficiency of existing and development of new route passenger transportation systems.

Keywords: urban mass transit, urban route systems, efficiency, passengers' travel cost.

UDC 006.91

Method of express diagnostics of vehicles on vibration parameters, system voltage and ignition systems/ Tymonyuk K. S., Kostenko V. L., Popereka E. D. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161). – P. 44–52. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

The results of studies of the control parameters of critical availability of engines are given.

It was developed a two-step control algorithm, which reduces the time required to assess the state of the controlled object.

Parameters control parameters of critical availability of engines were selected. The preliminary experiments to study the possibility of applying the control parameters for the current starter when scrolling engine and optical parameters were done.

The results of vehicles control using the two-step algorithm are given.

Studies have shown that the use of selected parameters of critical availability control allows controlling the normal life of the engine as well as the state of emergency to avoid its work, with a significant reduction in the time control.

Keywords: control parameters, diagnostic methods, algorithm, vehicle

UDC 004.021

Prediction efficiency of the conversion rate on the basis of logistic regression/ Savchenkova A. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161). – P. 52–55. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

In targeted display advertising, the goal is to identify the best opportunities to display a banner ad to an online user who is most likely to take a desired action such as purchasing a product or signing up for a newsletter. Finding the best ad impression, i.e., the opportunity to show an ad to a user, requires the ability to estimate the probability that the user who sees the ad on his or her browser will take an action, i.e., the user will convert. However, conversion probability estimation is a challenging task since there is extreme data sparsity across different data dimensions and the conversion event occurs rarely. In this paper, we present our approach to conversion rate estimation which relies on utilizing past performance observations along

user, publisher and advertiser data hierarchies. More specifically, we model the conversion event at different select hierarchical levels with separate binomial distributions and estimate the distribution parameters individually. Then we demonstrate how we can combine these individual estimators using logistic regression to accurately identify conversion events. We provide results from real advertising campaigns to demonstrate the effectiveness of our proposed approach.

Keywords: Action rate estimation, algorithmic advertising, computational advertising, logistic regression.

UDC 338.24.01

Regression model cost of electronic multimedia edition/ Kovaleva K. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 55–60. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459.

This article is devoted to the construction of regression models the cost of electronic multimedia publications on the basis of statistical data publishing center "Academy". The author considers two types of econometric models - additive and multiplicative. Each model is built step by step direct method, at each iteration by the method of least squares estimated model parameters, analyzed the statistical significance of the coefficient of the variable entered in the current iteration, and the value of the adjusted coefficient of multiple determination. These models are subjected to a rigorous econometric analysis, based on which model is best revealed - the additive.

In conclusion the authors tested the additive model on real data S. Kuznets KhNUE, which showed quite good results. This model is recommended for calculating the cost of electronic multimedia publications with some of the recommendations outlined in the article.

Keywords: econometric model, the cost price, electronic multimedia publications.

UDC 681.586:531.768:621.385.6

Development of SAW devices for measuring linear and angular displacements. Part 1/ Zhovnir M. F., Oliinyk O. O. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 60–65. – Bibliogr.: 12 – ISSN 2079-5459.

Measuring transducers (MT) based on the surface acoustic waves (SAW) for measuring linear and angular displacements are described. They are operating on a fine, intermediate and rough scales based on measuring the phase shift between the signals. It is described structural components of MT and their principles of operation. To demonstrate the metrological value of the developed MT the calculation results of sensitivity, accuracy, resolution, and other metrological parameters are presented. Described approaches for the phase shift measurement the can be used to further research and development of precision devices and positioning systems as well as sensors with a wide dynamic range of linear and angular displacements.

Considered transducers have a high performance, reliability and parameters stability. The proposed method is lock-in detecting allowed to increase resolution of phase shift measurement in 4 -5 orders over traditional phases meters.

This paper describes the system of parameters of SAW transducer in precision scale mode and demonstrates the metrological suitability of in precision mechanics and electronics technologies.

Keywords: SAW devices, displacement transducers, phase shift measurement, precision positioning.

UDC 656.212:681.3

Selection of the optimal interpolation method for the construction of navigation charts geophysical navigation system/ Prohorchuk O., Kucheryavenko I. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 65–70. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

We consider the comparison of existing methods for constructing interpolation standard navigation maps of geophysical fields of the Earth in order to find the best. To compare methods used their mathematical models, simulation environment is through MathLab, on which draws conclusions optimal method based on optimality criteria. We also consider the resulting modification of the optimal method to improve its quantitative characteristics. Results can be used for constructing correlation - extreme navigation systems, working on geophysical fields of land. By these criteria, the best method of interpolation method was chosen Shepard.

Modification of Shepard's method, which was developed by the imposition of restrictions on the choice of the next points and their structuring a tree provides a top speed limit search O , which is the land needed to address the problem of constructing maps of geophysical fields on board aircraft.

Keywords: navigation system, Earth's geophysical field, building reference cards interpolation methods.

UDC 621.9.048

Choice of electric drive synchronization system for lengthy vibration machines/ Romanchenko A. V. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 71–75. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

It not substantiated the feasibility of a powerful electric drive to vibration machines with large longitudinal sizes U-shaped containers. Functional and structural features of vibration machines synchronization systems designed for treatment of long details are analyzed in the article. Advantages and disadvantages of the considered systems are shown. Based on the analysis of information sources found that the appropriate use of synchronization systems without mechanical coupling between drives. Synchronization system of drives by scheme of electric shaft with supporting asynchronous machines for lengthy one or more containers of vibration machine is selected. The mechanical characteristics of the selected system similar to properties of mechanical synchronization system. In comparison with other analogs synchronization system of drives by scheme of electric shaft with supporting asynchronous machines is quite simple and provides high reliability.

Keywords: electric drive, vibrating machine, container, synchronization system, electrical shaft.

УДК 657

Use as a working tool roller gauges during machining of spherical parts/ Melkonov H. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 76–78. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The article specifies the nature and methods of processing the rolls caliber, defined cutting conditions and certain types of designs of cutting tools of machine tools and materials. Machine equipment for machining rolls divided into main and auxiliary. The main technological equipment are such machines that have direct application in the process of industrial manufacture of screw wave gauges. K ancillaries such machines are intended for the manufacture of cutting tools, grinding tools and appliances.

It was found that as a consequence of the low resistance of cup plates is necessary to stop the processing and output of the tool engagement with the workpiece.

Following the withdrawal of the tool from the cutting zone release the screws that secure the plate and turn it at an angle of $90^0 - 95^0$ - Allows you to enter in the processing areas not worn out blades.

Keywords: screw gauge, cutting tools, machine tools, materials, sharpening, adaptation, the wave calibers, forming rolls.

UDC 536.423 + 532.528

Using high hydrodynamic fluctuations to obtain water-ethanol mixtures/ Shurchkova Y. O., Dubovkina I. O. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 79–82. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The analysis of the processes that occur in binary systems of water-ethanol: hydration, association, formation of hydrogen bonds. The research of the properties of water systems, namely water-ethanol mixtures processed by discrete-pulsed input of energy are presented. The results of experi-

mental research of the effect of high-frequency oscillations in the hydrodynamic physic-chemical parameters of water systems are obtained. The reductions in the amount of dissolved oxygen in the water-ethanol mixtures are defined. Formulated conclusions of practical value for further research in this area and make recommendations for industrial implementation. Summary results of these research proves the feasibility of using high-frequency hydrodynamic oscillation for the mixing of water and ethanol.

It is planned to conduct further study of the effect of high hydrodynamic fluctuations in physical and chemical parameters other aliphatic alcohols to expand the applications of technology.

Keywords: water-ethanol mixture, discrete-pulsed input of energy, deoxygenating, high-frequency hydrodynamic oscillations.

UDC 621.793.7

Gas dynamics isentropic model for specific low pressure cold spraing nozzle geometry/ Canales H., Lytvynov A. A., Volkov A. O., Markovych S. E., Dolmatov A. I. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 82–87. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-5459.

The study of the gas dynamic process through a DeLaval nozzle is one of the main subjects aimed for the optimization of the Cold Spraying technology. The study of the gas dynamic characteristics of the process is generally achieved through isentropic gas dynamic models and computational fluid dynamics. A novel approach for the calculation of the energy parameters of a gas being expanded through a DeLaval nozzle is presented. This approach is capable of calculating the gas velocity and temperature for any cold spraying nozzle geometry. The model can be used as well in order to calculate the particles acceleration and heat transfer between a particles and the gas stream during their residence inside the cold spraying nozzle.

In this work, the effect of the boundary layer created inside the nozzle is studied using a pitot tube. The experimentation with the pitot tube shows a clear effect of the boundary layer on the Mach number development through the nozzle. It was found that for the studied cold spraying nozzle a Mach number of ~ 1.55 is developed. Calculations for the acceleration of Nickel, Aluminum and Copper particles were performed for the studied nozzle. The calculations have shown that the acceleration of particles is directly affected by the air density that decreases during its expansion through the cold spraying nozzle. The present model can be used in the future for the optimization of particle acceleration taking into account the effect of gas velocity and density through a DeLaval nozzle.

Keywords: gas dynamics model, Mach number, cold spraying process, nozzle geometry, fluid dynamics isentropic model.

UDC 665.383

Definition of rational conditions for the fractional crystallization of fatty coriander oil/ V. Kalyna, E. Kunitsa, F. Gladkyi, M. Lytsenko, O. Litvinenko Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 88–94. – Bibliogr.: 16. – ISSN 2079-5459.

The article is devoted to the definition of rational conditions for the fractional crystallization of fatty coriander oil from the melt. Modification of fat by the fractionation method allows separating fats and oils into fractions with different degrees of hardness, melting point and varied composition of triacylglycerols. Careful selection of the process parameters is required for each type of raw material. Aim of the article is defining the optimal parameters of the process of fractional crystallization of fatty coriander oil from the melt. Search of rational conditions for fractional crystallization of oil is done using the method of mathematical design of the experiment. The values of the response function and regression equations that adequately describe the response surface are defined. The results will be used in subsequent studies of fractionation patterns of fatty coriander oil by crystallization from the melt using auxiliary substances for process intensification.

Keywords: fractional crystallization, fat coriander oil, melt, melting point, orthogonal central composite design.

UDC 621.3: 622: 519.24

Security strategy and the ability to optimize the parameters of coal mine safety/ Kobylansky B., Mnukhin A. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 94–99. – Bibliogr.: 15. – ISSN 2079-5459.

The article describes the security strategy of the coal industry is based initially on the reporting system of scientific information to the industry, including the accounting of the consequences of accidents with the estimate of the cost of human lives, production management system industry, environmental factors and prognosis of complex multi-function universal phenomena.

Selected issues of mentioned above strategy are the evaluation system of social phenomena, as well as the development of methods for recycling the coal industry and, in particular, the waste dumps.

As part of the research shows that the representation of macro cells, that is, directly in the form of mines ergatic facility allows optimization of the parameters of safety of coal mines, taking into account the specific characteristics of the equipment used in it, all of these elements calculations or control shall be based solely on computer-based.

Keywords: macrosystem, coal mines, ergatic object, optimization, security, efficiency, management of coal mine

UDC 629.3

Problems of development of production processes of maintenance and repair of vehicles on the road transport enterprises/ Volkov V., Mostepan S., Fomenko I., Ryzhov V. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 100–103. – Bibliogr.: 18. – ISSN 2079-5459.

We consider the development of the production potential of road transport services in the context of the production of maintenance and repair vehicles with a specific level of quality. To assess the state of the individual components of the road transport enterprises asked to identify and classify the characteristics of production processes in the company and choose the methods for determining the quality of the individual components of the services from both internal and external environment. It is necessary for those enterprises where production reached a relatively stable indicator of the stability of the results. But for the further development of the use of production methods to match the quality, that is, matching expectations, and the service received by the client becomes the most important. Since each company its specific situation, both in terms of level of productive capacity and a target client, and the development of them will be different. There is not a common algorithm for all rozvitku.Rezultaty research can be used in making decisions on the further development of productive capacities.

Keywords: productive capacity, quality, development, production processes, service providers, consumers, factors expectations.

UDC 53.082.539

Assessment of influence basic design and technological factors on the sensitivity of the device based on the phenomenon of surface plasmon resonance/ Dorozinsky G. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 104–108. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2079-5459.

We consider the dependence of the sensitivity of the instrument based on surface plasmon resonance surface roughness of the metal layer and its sensing element excitation wavelength surface plasmons. The sensitivity of SPR-device "Plasmon-6" in the mode of measuring the intensity of the reflected light with increasing surface roughness sensing element from 0 to 20 nm is 2 times decreased from 5.13 V / deg to 2.82 V / deg. This is due to a decrease in left slope steepness reflection characteristics $R(\eta)$ as a result of its expansion. By increasing the laser wavelength of 650 ... 1200 nm sensitivity of the device increases 5 times with 5.13 V / deg to 26 V / deg result, due to the increase in the steepness of the slope left reflection characteristics $R(\eta)$. At wavelengths smaller than 589 nm to 650 nm and a minimum reflection characteristics $R(\eta)$ is weakly expressed extreme, and the shape of the curve is substantially asymmetric and sensitivity of the device is less than 5.13 V / deg. At wavelengths 1200 nm reflectance characteristics at the minimum reflectance $R(\eta)$ increases to 0.2, which reduces the dynamic range of angular measurement.

The practical significance is that the results of numerical analysis can be used to improve existing and create new devices based on surface plasmon resonance.

Keywords: surface plasmon resonance, the sensitivity, the wavelength of the radiation, the surface roughness.

UDC 664.644.5.096.4:543.42

Features of immobilization α -amylase on protein's and polysaccharide's matrixes/ Dzyuba N., Zemlyakova E. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 108–112. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

The disadvantages of the direct entry of enzymes and their inhibitors in humans, limiting their use are temperature and pH stability, changes in ionic strength. That's why study of dietary supplements obtained by immobilizing enzymes and their inhibitors in protein and polysaccharide matrices are actual and prospective.

Biocorrectors and matrix are substances of protein nature, as a result of immobilization they form strong electrostatic bonds and bonds that can be determined by infrared spectroscopy.

The article aim is to explore the possibility of formation of α -amylase-glutin and α -amylase-agar complex using infrared spectroscopy.

The infrared absorption spectrum of samples conducted in 4000 cm^{-1} and 400 cm^{-1} on infrared spectrophotometer FTIR-8400S of Shimadzu company.

The possibility of using infrared spectroscopy to analyze the bond in the production of immobilized α -amylase on protein's and polysaccharide's matrixes were showed in the article. IR-spectrums of glutin, agar, native and glutin-immobilized amylase were considered. Analysis of bonds in a glutin molecules and all forms of immobilized enzyme was made. Functional bonds, which provide the α -amylase immobilization on glutin and agar were determined. It is shown, that -OH, -C=O, -NH are the most important in the formation of α -amylase-glutin and α -amylase-agar complex.

Keywords: biologically active additive, immobilization of amylase, agar, glutin, infrared spectroscopy, functional foods.

UDC 669.295

Smelting of titanic alloys (review)/ Chervony I., Goloborodko E., Mamotenko V. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 112–116. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459.

The analysis of technologies and technological equipment is executed for smelting of alloys on the basis of titan with the use of metallic titan and titan from secondary raw material. On the basis of the required mechanical and physical and chemical descriptions of alloys on the basis of titan mainly expedient directions of the use of the cathode-ray and induction melting of various feedstock are certain with providing of the set properties of the finished good.

At the production of alloys on the basis of titan treatment of metallic titan as a titanic sponge or processing of titan is foreseen from secondary raw material - crow-bar and wastes of industry. First of all the task of sorting of initial raw material, both primary and secondary, and preparation of charge decides for melting. After the special preparation a charge yields to the affinage from gaseous admixtures - oxygen, nitrogen and hydrogen. Thus, in the process of affinage the operation of alloying is foreseen for providing of necessary descriptions of alloy.

From numerous technological receptions and methods of smelting of alloys on the basis of titan two is distinguished anchorwomen processes are cathode-ray and induction methods of processing of initial raw material as titanic bars, spongy titan or titan from secondary raw material. These methods provide the high measure of cleanness of process, accessible structural implementation asms for melting of metal and high enough and guided yield.

Keywords: alloy, titan, cathode-ray melting, induction melting, plasma melting, vacuum-arc melting, wastes, crow-bar, admixture

UDC 644.8:658.562.5

Study design stage energy efficient IR dryers/ Zagorulko, A., Zagorulko A., Kiptelaya L. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 116–122. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The paper presents the study of the main stages of the design of thermal devices, because the existing IR dryers have drawbacks in the form of large-capacity, long-term heat treatment, significant energy and metal, and also do not provide uniform heat flux on the receiving surface. In this regard, there is urgency in a detailed study of the stages of designing energy-efficient modern automated infrared dryer's periodic and continuous action to produce high quality semi-finished products of dried vegetable raw materials Fruit and Berry. These studies allowed us to develop the optimum design of energy efficient infrared dryers, which have the following advantages: a uniform heat flux across the receiving surface with vegetable raw materials (in the trays and between them) due to the geometric shape of IR dryers; the use of secondary (heated) air and shaking for an intensification of the processes of IR drying vegetable Fruit and Berry raw materials; Low energy and metal designs of devices over existing analogues.

Keywords: steps, design, development, IR dryer, Fruit and Berry vegetable raw materials, the optimum shape, uniformity.

UDC 577.152.3 + 663.15

Establishment of the technological modes of receiving the immobilized hydrolytic enzymr preparation/ Todosiichuk T. S., Dugan A. M. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 122–126. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-5459.

Work is devoted to research of the technological modes of an immobilization of hydrolytic enzyme complex from *Streptomyces albus* by adsorbtion method on Silics. Influence of temperature, concentration of the carrier (Silics of the A-300 brand) and immobilization duration, on efficiency of an activity of a enzyme complex is established. Possibility of an immobilization of an enzyme complex is investigated directly during biotechnological process and its advantages in comparison with adsorption from solution of a ready enzyme preparation are shown.

Concentration influence Silics on technological processes of the subsequent processing of a semi-product, namely separation, concentration and drying allows to receive ready forms of a product is shown. The following after a stage immobilization drying of the concentrated mix without centrifugations gives in the contact way the chance to receive the granulated preparation of technical appointment. Such immobilized hydrolytic enzyme preparation can be used in composition of the powder synthetic detergents or for neutralization of household waste.

Results of research can be used when developing the specifications and technical documentation on production of an immobilized hydrolytic enzyme preparation.

Keywords: hydrolytic enzymes, immobilization, absorption, lytic activity, parameters, enzyme preparation.

UDC 629.17

Failures and reliability of cars as components of operational reliability/ Muradyan L. A. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P.127–130. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459.

One of the problems of modern reliability theory based on classical probabilistic methods is the inability to adequately predict the exact moment of a failure as a random event. Time of failure of the object is preceded by complex internal changes. These changes in freight cars can manifest itself in different ways depending on the location and nature of the failure.

The existing conceptual apparatus of reliability theory is regulated by means of a large number of normative and technical documents. According to these documents, reliability include: reliability, durability, maintainability and safety.

Reliability cars are particularly important because it is essential for human life. Based on the analysis of failures of cars and, in particular, indicators of reliability - reliability, formulated the hypothesis of the existence of the center of gravity, which is crucial for the assessment of the opera-

tional reliability of the car. The center of gravity is called the coefficient of operational reliability of the car. On the basis of these factors can be predicted and stated significant economic losses, environmental consequences or the threat to human life.

In addition, in the developed and the technique of determining the ratio of operational reliability of cars using that, you can consider the use of new designs and new materials.

The above method of determining the ratio of operational reliability of cars allows considering the use of new designs and materials (such as wheel sets, or body).

Keywords: Coefficient of Operational Reliability of Cars, Failure Probability of Failure-free Operation, Railway Transport

UDC 629.5.065.5

The management of program loading with hereditary technical and economic memory/ Saveleva O. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P.130–134. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459.

The paper discusses issues related to the project management process and program loading vehicle. By the features of such projects include the provision of the same operations, and as a consequence - partial loss of project activities during the transition between the serial projects as well as for displaying hereditary disorders program plan. In managing the program, consisting of successive projects of loading vehicles in all functional areas of the current project is partially hidden information about the previous lack of accounting which can lead to undesirable consequences in the cargo during transportation.

The paper defines the concept of "genetic memory"; an analysis of the process of becoming a memory; reference system is designed to support current design solutions and carried out the assessment is positive its impact on the program as a whole.

Keywords: program and project management, cargo transportation, technical and economic hereditary memory.

UDC 65.012.3: 316.422

The fractal dimension as degree measure of design activity degeneracy/ I. Stanovska Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P.134–140. – Bibliogr.: 15. – ISSN 2079-5459.

It is shown that a pressing problem of design management is the creative work on the prevention of internal and external calls on technological activity transformation prevention. The purpose of work is effective management increase of projects and these projects product qualities due to development and deployment of new fractal methods of a quantitative assessment of design activity in operational extent transformation.

The numerical estimation examined issues of the creative project activities in routine operating transformation degree. For this purpose it is proposed to consider in the project management processes fractality and explore further this process as a fractal object. The project management process in a two-dimensional stochastic fractal object presentation is made. The computer simulation of serial design activity transformation showed opportunity to estimate it by means of stochastic fractal dimension. The results have been implemented in the project management process with a positive effect.

Keywords: project activity, project fractal, Hausdorff dimension, fractal dimension, freedom transformation.

UDC 621.331: 621.311.4

Improving the quality and efficiency of the system maintenance, and repair of traction substations/ Matusevich A. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P.141–145. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Improving the operational reliability of traction substations by improving the system of maintenance and repair of electrical power is needed in conditions of criticality of technological processes and modes of operation of railways in modern conditions. Modern approaches of improving service system mainly concern the methods of control parameters in the process of diagnosing the technical condition and methods for determining assigned resource equipment, and this is possible only with the development of modern models, which will determine the function of a time between failures of power electrical equipment of traction substations of electrified railways in view its individual characteristics.

The model of improving the quality and efficiency of the maintenance of power electrical equipment of traction substations is developed in the article. It combines the means and methods and activities aimed at improving the operational reliability of the equipment of traction substations. The matrix evaluation of the quality and efficiency of the service is formed and methods of processing the results of expert assessments for determining the actual level of the integral index of quality of the system are considered.

Keywords: traction substation, repair, maintenance, model, matrix.

UDC 66.083.2:66-971:614.849

Evaluation of environmental hazards of oil vapor emissions during operation of light oil storage tanks/ Garbuz C. V., Kovalev A. A., Titarenko A. V. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 146–152. – Bibliogr.: 15. – ISSN 2079-5459.

The causes of environmental hazards, and shows the "large" and "small" breaths of light oil storage tanks. Critical analysis of the most common systems in the world to capture and recovery of hydrocarbon vapors. The results of the theoretical calculations quantify the emissions of oil vapor through breathing valve of the tank, as well as the results of a natural experiment to assess concentrations of vapors of gasoline and diesel fuel in the surface layer of the atmosphere at the "big breath" tank. The experiment showed that the "big" breathing RVS-5000 in their 5 meter zone, the concentration of the vapor of gasoline and diesel fuel exceeds the limit, with high concentrations of the vapor fuel is stored at a distance of up to 30 meters. To reduce the environmental hazards in the operation of vessels, grounded organizational and technical measures aimed at reducing emissions of oil vapor from the tanks, by setting the filter elements on the respiratory valve tanks.

Keywords: environmental hazards, light oil, vapors, vapor emissions.

UDC 004.03:65-574.5

Organization of information protection in the information system of determining the toxicity focus of biological objects/ Ruzhentsev V., Pashchenko M., Porvan A. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P. 152–156. – Bibliogr.: 18. – ISSN 2079-5459.

It is proposed an approach to the organization of information protection in the information system of determining the toxicity focus of aquatic biological objects to prevent unauthorized access to data. As the most efficient algorithm for the information protection has been elected a symmetric block encryption algorithm. The use of this algorithm is enabled to achieve the necessary and sufficient performance of operations of encryption and decryption of data monitoring of water bodies on different software platforms with a sufficiently large volume of diverse information and ensure confidentiality of sensitive information at all stages of the determination of the toxicity focus of biological objects by its byte-oriented structure.

Also, it is shown a block diagram of an information system of remote, including using light drones, identifying toxicity focus of aquatic biological objects.

Keywords: database, aquatic ecosystem, information protection, information system, symmetric block encryption algorithm.

UDC 629.33:004.056

Analysis of information security of modern automobile/ Makovetskyi A. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 52 (1161).– P.156–161. – Bibliogr.: 19. – ISSN 2079-5459.

Modern automobiles are complex technological systems equipped with electronic devices for improved performance and technical properties. Steady increasing in the number of electronic devices in modern automobiles with wired and wireless connectivity inevitably leads to increasing of vulnerability, hence – security and operational efficiency are reducing.

The analysis revealed a number of threats to information security of the automated systems of modern cars, which reduces the efficiency of the operation and road safety. According to the evaluation criteria of onboard electronics, the availability of poorly protected channels of communication, the danger of external blocking vital systems 75 % of studied modern vehicles do not meet the minimum requirements for information security. Identify vulnerabilities of information systems of modern cars lead to develop methods needs of mechanical and electronic security vehicle.

Keywords: information, vulnerability, protection, threat, safety, operation, automobile.

UDC504.03 / 628.3.03

The increase of ecological protection of water bodies in the area of dumps impact/ Mykhailenko V. V. Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – No 52 (1161).– P.161–165. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

This article is about the development of technology to protection of water sources from dumps drains.

To eliminate the negative impact of dump the scheme complex recycling and purification sump sewage was proposed.

The method of anaerobic digestion was proposed for sewage treatment. The dependence of the fermentation process on the temperature was defined. We founded that the optimum temperature of the process is 54-55 ° C. It is proved that the final content of helminths and enterobacterias at a given temperature least. It is established that the use of continuous operation of organization of the process most effectively.

The method of sedimentation with pH increase for drains treatment was proposed. This leads to the binding of the precipitate of hydroxides. As neutralizing mixture are using a calcium hydroxide and metallurgical slag. The sorbents – double layered hydroxides are proposed for phenols remove. The processes of precipitation was investigated. The parameters of safe neutralization process, prevention of ingress of contaminants into the air were studied.

The Scientific novelty of the got results is the study of chemical and biological contamination of dumps drains in Mariupol city.

The development of theoretical substantiation and experimental verification process of anaerobic digestion drains, which leaked to the surface near the body dump of biological contamination.

The parameters that provide the greatest degree of purification were determined.

Scientifically grounded and calculated parameters of cleaning liquid phase storage of phenol using sorbents - layered double hydroxides of iron ions and using calcium oxide.

Keywords: environmental protection, dump, drains, layer double hydroxide, anaerobic digestion.

ЗМІСТ

Исалы Б. Э., Мамедли Р. Э. Об устойчивости трехслойных неоднородных стержней в нелинейно упругой среде.....	3
Исаев Ф. К., Раджабов В. Г. Устойчивость неоднородных нано-микро элементов на основе нелокальной теории упругости	5
Маслов В. П., Литвин П. М., Туру Т. А., Корчовий А. А., Качур Н. В., Гурін А. В. Особливості розподілу температури плівкового нагрівача на основі прозорої електропровідної плівки ІТО.....	8
Мамедов А. Т., Алиев Ч. А. Стуркура и свойства композиций после спекания и горячего уплотнения....	14
Аль-Судани Хайдер А. М. Основные принципы фотонно-кристаллических волокон гироскопов.....	18
Мигущенко Р. П. Розрахунок вимірювальних каналів вібрації для ідентифікації складних промислових агрегатів.....	24
Кучеренко Е. И., Глушенкова И. С., Глушенков С. А. Расширение сетевых моделей на основе интеграции стохастических и нечетких графов.....	28
Таванюк Т. Я. Математическое моделирование следящего привода.....	32
Мищенко В. О., Олевский В. И., Олевская Ю. Б. Математические модели обогащения для автоматизированных систем управления качеством дешламации магнетита.....	36
Акбар Джан Полад. Анализ критериев оценки эффективности функционирования маршрутных систем городов.....	41
Тьманюк К. С., Костенко В. Л., Поперека Е. Д. Методика экспресс-диагностики транспортного средства по параметрам вибрации, напряжения бортовой сети и системы зажигания	44
Савченкова А. Ю. Прогноз эффективности коэффициента конверсии на основе логистической регрессии	52
Ковалева Е. А. Регрессионная модель себестоимости электронных мультимедийных изданий.....	55
Жовнір М. Ф., Олійник О. О. Розробка пристроїв на пах для вимірювання лінійних та кутових переміщень. Частина 1.....	60
Прохорчук О. В., Кучерявенко І. О. Вибір оптимального методу інтерполяції для побудови навігаційних карт геофізичної навігаційної системи.....	65
Романченко А. В. Выбор системы синхронизации электропривода длинномерных вибрационных станков	71
Мелконов Г. Л. Использование в качестве рабочего инструмента валковые калибры при обработке сферических деталей.....	76
Шурчкова Ю.О., Дубовкіна І. О. Використання високочастотних гідродинамічних коливань для одержання водно-etanoльних сумішей.....	79
Каналес О., Литвинов А. А., Волков А. О., Маркович С. Е., Долматов А. И. Адиабатическая газодинамическая модель для специфической геометрии сопла холодного напыления низкого давления.....	82
Калина В. С., Куниця К. В., Гладкий Ф. Ф., Луценко М. В., Литвиненко О. А. Визначення раціональних умов фракційної кристалізації жирної коріандрової олії.....	88
Кобылянский Б. Б., Мнухин А. Г. Стратегия безопасности и возможность оптимизации параметров безопасности угольных шахт.....	94
Волков В. П., Мастепан С. М., Фоменко І. М., Рижова В. Ю. Проблеми розвитку виробничих процесів технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів на підприємствах автомобільного транспорту..	100

Дорожинський Г. В. Оцінка впливу основних конструкторсько-технологічних чинників на чутливість приладу на основі явища поверхневого плазмонного резонансу	104
Дзюба Н. А., Землякова О. В. Особливості іммобілізації α -амілази на білкових та полісахаридних матрицях.....	108
Червоный И. Ф., Голобородько Е. А., Мамотенко В. И. Выплавка титановых сплавов (обзор).....	112
Загорулько А. Н., Загорулько А. Е., Киптелея Л. В. Исследование этапов проектирования энергоэффективных ик-сушилок.....	116
Тодосійчук Т. С., Дуган О. М. Встановлення технологічних режимів отримання іммобілізованого гідролітичного ферментного препарату.....	122
Мурадян Л. А. Відмови та безвідмовність вагонів як складові експлуатаційної надійності.....	127
Савельєва О. С. Управління програмою навантаження зі спадковою технічною та економічною пам'яттю.....	130
Становська І. І. Фрактальна розмірність як міра ступеня виродження проектної діяльності.....	134
Матусевич А. А. Повышение качества и эффективности системы технического обслуживания и ремонта оборудования тяговых подстанций.....	141
Гарбуз С. В., Ковалёв А. А., Титаренко А. В. Оценка экологической опасности выбросов паров нефтепродуктов при эксплуатации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов.....	146
Руженцев В. І., Порван А. П., Пашенко М. А. Організація захисту інформації в інформаційній системі визначення осередків токсичності біоб'єктів.....	152
Маковецкий А. В. Анализ информационной безопасности современного автомобиля.....	156
Михайленко В. В. Підвищення екологічної безпеки водних об'єктів в зоні впливу звалищ твердих побутових відходів.....	161
Реферати.....	166
Рефераты.....	171
Abstracts.....	177

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Механіко-технологічні системи та комплекси

№ 52(1161)

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

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. №56-15

Підп. до друку 28.12.2015р. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 8. Облік.вид.арк. 8,75.
Наклад 100 прим. Зам. № 81-15. 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