

ЗМІСТ

Кириченко О. В., Діброва О. С., Мотрічук Р. Б., Тищенко Є. О., Цибулін В. В. Визначення допустимих режимів нагріву піротехнічних сумішей при їх експлуатації.....	5
Кобозєва А. А., Бобок І. І. Метод відокремлення клону від прообразу в цифровому зображенні в умовах відсутності постобробки зображення.....	12
Пилипенко О. М., Огій О. В. Обґрунтування тарифу на перевезення пасажирів автобусним транспортом у м. Черкаси.....	20
Мисник Б. В., Веретільник Т. І., Мисник Л. Д. Мультиагентна оптимізація функціонування та підтримка процесів прийняття рішень керівником підприємства поліграфічної галузі	26
Голуб М. В., Мацена С. М., Канашевич Г. В., Алексєєва О. С., Хижняк Є. В., Дмитренко П. П. Металізація технічного скла з використанням електронно-променевого методу мікрообробки поверхні	34
Веретільник Т. І., Мисник Л. Д., Манзюра О. В., Капітан Р. Б. Застосування кольірних гармоній та відтворення кольору в поліграфії.....	39
Яценко І. В., Ващенко В. А., Цибулін В. В. Підвищення стійкості оптичних елементів оптико-електронних приладів до зовнішніх термічних впливів.....	45
Черній Т. С., Столяренко Г. С., Редька К. В., Чиж О. В. Дослідження процесу вилучення цинку з кисневмісних сполук з шламу виробництва хімічних волокон	53
Мисник Л. Д., Веретільник Т. І., Мамонов Ю. П., Капітан Р. Б., Манзюра О. В. Кінематичний аналіз швейного апарату кулачково-кулісного типу дртошвейної машини.....	59
Дуднік А. С., Квасніков В. П. Аналітична модель вимірювання відстані за допомогою сенсорних мереж та оцінка похибки вимірювання	66
Бондаренко Ю. Ю., Филимонов С. О., Мисан А. А. Влияние геометрических параметров на амплитуду колебаний пьезоэлектрического актуатора малогабаритных летательных аппаратов.....	70
Шкуро М. Ю. Концептуальна модель системи управління проектами підвищення муніципальної енергоефективності	76
Хлевна Ю. Л. Метод оцінки та управління впливами на формування конкретизованої методології управління проектами.....	82
Єгорченкова Н. Ю., Єгорченков О. В., Катаєва Є. Ю. Сучасні тренди та перспективи проектного менеджменту у світі	90
Базіло К. В. Дослідження електричного імпедансу п'єзоелектричного диску в області середніх частот	100
Дивизинюк М. М., Мирошник О. Н., Самберг А. Математическая модель обнаружения и идентификации разливов нефтепродуктов на водной поверхности.....	105
Накул Ю. О. Математична модель системи завантаження контейнеровоза	110
Лепський В. В., Дзюба Т. В. Моделі бізнес-процесів проектно-орієнтованого медичного закладу	114
Фесенко Т. Г., Мохамед Абдулсалам Сієк Алі. Моделювання оцінки “Risk Management” в системі управління будівельними проектами.....	120
Запорожець А. О., Запорожець М. В. Застосування методів тайм-менеджменту в управлінні проектами	128
Кулик А. Я., Ревіна Т. Г., Боднар М. В. Реєстрація і оброблювання сигналу ЕЕГ з використанням поліномів Чебишева.....	133

CONTENTS

Kirichenko O. V., Dibrova O. S., Motrichuk R. B., Tyschenko E. O., Tsybulin V. V. Defining the acceptable heating mode pyrotechnic mixture at their operation.....	5
Kobozeva A. A., Bobok I. I. Method of separating the clone from the prototype in digital image without the image processing	12
Pilipenko O. M., Ogiy O. V. Substantiation of rate for passenger transportation by bus in Cherkasy.....	20
Mysnyk B. V., Veretil'nyk T. I., Mysnyk L. D. Multi-agent functioning optimization and decision making assistance for printing trades area head	26
Holub M. V., Matsepa S. M., Kanashevych H. V., Alekseeva O. S., Khyzhniak I. V., Dmitrenko P. P. Metalization of a technical glass with using the electron beam method of a surface microprocessing	34
Veretil'nyk T. I., Mysnyk L. D., Manzjura O. W., Kapitan R. B. Use of colour harmony and reproduction in polygraphy	39
Yatsenko I. V., Vaschenko V. A., Tsybulin V. V. Enhancing the stability of optical elements of optical-electronic devices to external thermal effects	45
Cherniy T. S., Stolyarenko G. S., Redka K. V., Chizh O. V. Researching of chemical fiber production wet processing technology.....	53
Mysnyk L. D., Veretil'nyk T. I., Mamonov Y. P., Kapitan R. B., Manziura O. V. Kinematic analysis of the cam-type sewing mechanism of wire cutting machine	59
Dudnik A. S., Kvasnikov V. P. Analytical model of measurement against sensor networks and evaluation of measurement error.....	66
Bondarenko Yu. Yu., Filimonov S. A., Misan A. A. Influence of geometric parameters on the amplitude of small-sized flying apparatuses piezoelectric actuator vibrations.....	70
Skuro M. Y. Conceptual model of project management system for increasing municipal energy efficiency	76
Khlevna Iu. L. Method of evaluation and management of effects on formation of customized project management methodology.....	82
Yehorchenkova N. I., Yehorchenkov O. V., Kataiev Y. I. Current trends and prospects of project management in the world	90
Bazilo C. V. Research of electrical impedance of piezoelectric disk in middle frequencies area	100
Diviziniuk M.M., Miroshnik O.N., Samberg A. Mathematical model of detection and identification spreads of oil products on water surface.....	105
Nakul Yu. O. The mathematical model of a container ship loading systems.....	110
Lepskiy V. V. , Dziuba T. V. Models of project-oriented medical institution business processes	114
Fesenko T. G., Mohamed Addulsalam Seek Ali Modeling of “Risk Management” assessment in the project management system construction	120
Zaporozhets A. O., Zaporozhets M. V. Use of time management methods in project management	128
Kulyk A. Y., Revina T. G., Bodnar M. V. The EEG signal registration and processing with the use of Chebyshev polynoms	133

УДК 614.841:536.46

О. В. Кириченко¹, д.т.н., с.н.с., завідувач кафедри пожежно-профілактичної роботи**О. С. Діброва¹**, ад'юнкт**Р. Б. Мотрічук¹**, ад'юнкт

e-mail: okskir@meta.ua

Є. О. Тищенко², к.т.н., доцент, заступник начальника з навчальної та виробничої роботи**В. В. Цибулін³**, викладач¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України,

вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

²Навчально-методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Черкаської області

вул. 30 років Перемоги, 26, м. Черкаси, 18034, Україна

³Черкаський державний технологічний університет,
бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМИХ РЕЖИМІВ НАГРІВУ ПІРОТЕХНІЧНИХ СУМІШЕЙ ПРИ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

На стадії проектування піротехнічних сумішей необхідно прогнозувати допустимі режими їх нагріву, перевищення яких призводить до займання зарядів сумішей під металевими оболонками виробів, що призводить до пожежовибухонебезпечних для оточуючих об'єктів руйнувань сумішей. Розроблено уточнену математичну модель нагріву піротехнічних сумішей зовнішнім тепловим потоком, що враховує температурні залежності теплофізичних властивостей матеріалу оболонки та заряду суміші (об'ємної теплоємності, коефіцієнта теплопровідності) та дозволяє більш точно розраховувати розподіл температури по товщині виробу. Встановлено, що збільшення величини теплового потоку призводить до зростання температури нижньої поверхні оболонки, що контактує з зарядом суміші. Вперше визначено гранично допустимі значення параметрів термовпливів на поверхню металевих оболонок піротехнічних сумішей, перевищення яких веде до інтенсивного саморозігріву реакційноздатної суміші аж до її займання та прискорення горіння, що, у кінцевому підсумку, призводить до пожежовибухонебезпечних руйнувань сумішей.

Ключові слова: піротехнічні вироби, параметри термовпливу, процеси горіння сумішей.

Вступ. Нині піротехнічні вироби на основі ущільнених сумішей з порошків металевих горючих (магнію, алюмінію, цирконію та ін.), нітратовмісних окиснювачів (нітратів лужних, лужноземельних металів та ін.) та добавок органічних речовин (парафіну, стеарину, нафталіну, антрацену і ін.) широко використовуються в різних галузях народного господарства і військової техніки (фесерверочні склади, освітлювальні і трасуючі засоби, піротехнічні ІЧ-випромінювачі, елементи ракетно-космічної техніки та ін.) [1 – 4]. Всі піротехнічні вироби при їх зберіганні і транспортуванні [5, 6] можуть піддаватися зовнішнім термовпливам (наприклад, в умовах пожежі в складських приміщеннях, де зберігаються вироби, або при їх транспортуванні в умовах спалаху оточуючих горючих матеріалів з високими температурами полум'їв (табл. 1)).

В результаті відбувається суттєвий нагрів зарядів сумішей, реакційноздатних до підвищених температур (рис. 1), що призводить до їх передчасних локальних займань під герметичними корпусами і подальшого розвитку процесу горіння сумішей в умовах підвищених температур нагріву і зовнішніх тисків. При цьому в одних випадках вироби нагріваються без видимих руйнувань, а в інших – відбуваються їх вибухонебезпечні руйнування з утворенням різних чинників пожежі (полум'я або високотемпературний потік продуктів згоряння, дисперговані продукти (уламки металевих корпусів, розігріті частини зарядів сумішей, іскри тощо)).

Тому на стадії проектування і розробки піротехнічних сумішей необхідно вміти прогнозувати допустимі режими їх нагріву, перевищення яких призводить до запалювання зарядів сумішей під металевими оболонками

виробів, прискорення процесу їх горіння при зростаючих температурах нагріву та зовнішніх тисках, що в кінцевому підсумку призводить до пожежовибухонебезпечних для оточуючих об'єктів руйнувань сумішей. На сьогоднішній день, вказана задача не вирішена, оскільки відсутні результати досліджень з моделювання і розрахунку температурних полів у металевих оболонках та зарядах сумішей, які контактують з ними, в умовах зовнішніх термовпливів, а також дані про температури

на нижніх сторонах оболонок та зіставлення їх з температурами спалахування частинок металевих паливних в активних газоподібних продуктах термічного розкладання окиснювачів і добавок органічних речовин. Отже, **метою даної роботи** є побудова математичних моделей нагріву піротехнічних сумішей зовнішніми джерелами тепла та розробка методів визначення допустимих діапазонів зміни їх параметрів, що не призводять до пожежовибухонебезпечних руйнувань сумішей.

Таблиця 1

Значення температур полум'їв і ступенів їх чорноти основних горючих матеріалів [7]

№ п/п	Горючий матеріал	Температура полум'я, К	Ступінь чорноти
1	Торф, мазут	1273	0,88
2	Деревина, буре вугілля, сира нафта, дизельне паливо	1373...1423	0,6
3	Кам'яне вугілля, каучук й вироби з нього, бензин	1473...1523	0,9
4	Антрацит, сірка	1573	0,6
5	Горючі гази	1773...1973	0,7
6	Метали	> 2373...2623	0,66

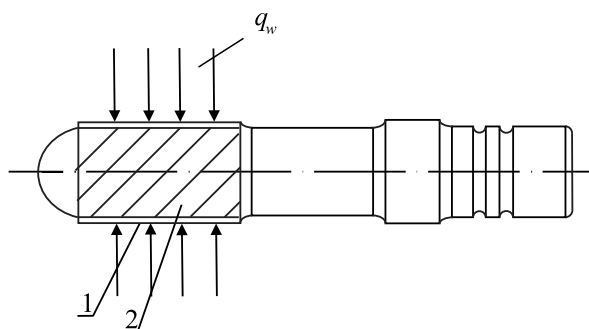


Рис. 1. Схематичне зображення зовнішнього нагріву зарядів піротехнічних сумішей:

q_n – тепловий потік, що надходить на поверхню оболонки суміші від зовнішніх джерел тепла (зони пожежі, осередків загоряння різних паливних речовин (див. табл. 1) і ін.); 1 – металева оболонка; 2 – заряд піротехнічної суміші

Результати досліджень та їх аналіз. Математична модель процесу нагрівання піротехнічних сумішей зовнішнім тепловим потоком q_w . Розглядається металева оболонка у вигляді плоского шару товщиною H_1 зі сталі 12X18H10T [4], який контактує з плоским

$$C_{Vi}(T) = C_{Vi0} \cdot T_i^\nu,$$

де індекси “1” та “2” відповідають матеріалу оболонки та суміші.

Для використовуваних на практиці значень H_1 та H_2 ($H_1 = 8 \cdot 10^{-4} \dots 3 \cdot 10^{-3}$ м,

$$\delta_1 = 2(a_1^2 \cdot \tau)^{1/2} \approx H_1,$$

де δ_i ($i = 1, 2$) – глибина проникнення теплової хвилі у матеріал оболонки та заряд суміші,

шаром заряду суміші товщиною H_2 (рис. 2). При цьому на основі існуючих експериментальних даних [3, 4] враховуються температурні залежності теплофізичних властивостей матеріалу оболонки і суміші (відносна похибка 5...8 %):

$$\lambda_i(T) = \lambda_{i0} \cdot T_i^\nu \quad (i = 1, 2), \quad (1)$$

$H_2 = (2 \dots 4) \cdot 10^{-2}$ м [4, 5], використовуються наступні умови [8]:

$$\delta_2 = 2(a_2^2 \cdot \tau)^{1/2} \ll H_2, \quad (2)$$

м; $a_i^2 = \frac{\lambda_i(T)}{C_{Vi}(T)}$ – температуропровідність матеріалу оболонки та суміші відповідно, м²/с.

Таким чином, глибина проникнення теплової хвилі співрозмірна з товщиною першого шару і набагато менше товщини другого шару. Тому необхідно враховувати теплообмін на межі розділу шарів і можна знехтувати теплообміном на нижній стороні другого шару.

У припущенні рівномірності зовнішніх термовпливів вздовж поверхні металевої оболонки ($q_w = q_{w0} = \text{const}$), рівняння математичної моделі нагріву розглядуваної двошарової системи мають вид [9]:

$$C_{V1}(T_1) \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_1(T_1) \cdot \frac{\partial T_1}{\partial z} \right], \quad t > 0, \quad 0 < z < H_1, \quad (3)$$

$$C_{V2}(T_2) \cdot \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_2(T_2) \cdot \frac{\partial T_2}{\partial z} \right], \quad t > 0, \quad H_1 < z < +\infty, \quad (4)$$

$$T_1|_{t=0} = T_2|_{t=0} = T_0, \quad (5)$$

$$-\lambda_1(T_1) \cdot \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=0} = q_{w0}, \quad (6)$$

$$T_1|_{z=H_1} = T_2|_{z=H_1}, \quad (7)$$

$$\lambda_1(T_1) \cdot \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=H_1} = \lambda_2(T_2) \cdot \frac{\partial T_2}{\partial z} \Big|_{z=H_1}, \quad (8)$$

$$T_2 \rightarrow T_0, \quad \left(\frac{\partial T_2}{\partial z} \right) \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad z \rightarrow +\infty. \quad (9)$$

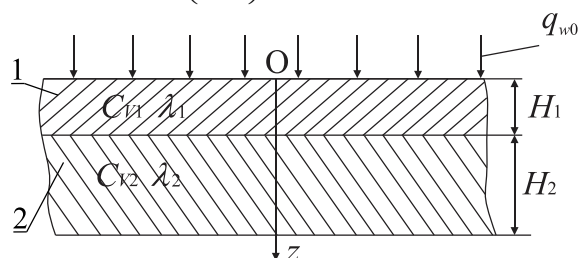


Рис. 2. Схема нагріву двошарової системи, що складається з шарів металевої оболонки та заряду піротехнічної суміші, які контактують: 1 – металева оболонка; 2 – заряд піротехнічної суміші; H_1, H_2 – товщини оболонки та заряду суміші відповідно, м

Лінеаризуючи систему рівнянь (4) – (9) за допомогою заміни змінних

$$\theta_i(z, t) = T_i^{\nu+1} - T_0^{\nu+1} \quad (i = 1, 2), \quad (10)$$

а також використовуючи пряме і зворотне перетворення Лапласа по змінній t [9] для знаходження функцій $\theta_1(z, t)$ та $\theta_2(z, t)$, а також враховуючи (10), отримуємо рішення вихідної задачі:

$$T_1(z, t) = \left\{ T_0^{\nu+1} + \frac{4(\nu+1) \cdot q_{w0} \cdot a_{10} \cdot \sqrt{t}}{\lambda_{10}} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} b^n \operatorname{ierfc} \left(\frac{2H_1 n + z}{2a_{10} \cdot \sqrt{t}} \right) - \sum_{n=0}^{\infty} b^n \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{2H_1 n - z}{2a_{10} \cdot \sqrt{t}} \right) \right] \right\}^{\frac{1}{\nu+1}}, \quad (11)$$

$$T_2(z, t) = \left\{ T_0^{\nu+1} + \frac{4(\nu+1) \cdot q_{w0} \cdot a_{10} \cdot \sqrt{t}}{\lambda_{10} \cdot (1 + d_0)} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} b^n \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{H_1 n}{a_{10} \cdot \sqrt{t}} + \frac{z}{2a_{20} \cdot \sqrt{t}} \right) \right\}^{\frac{1}{\nu+1}}. \quad (12)$$

Результати розрахунків розподілів температури по товщині металевої оболонки. Під пожежонебезпечними термовпливами на поверхню піротехнічних сумішей в умовах їх зберігання та транспортування приймаються [5, 6] ті граничні значення параметрів цих впливів (наприклад, значення зовнішніх теп-

лових потоків ($q_{w0j}^*, j = 1, 2, \dots$) та часів теплового впливу ($t_j^*, j = 1, 2, \dots$), при яких температура нижньої сторони оболонки, що контактує з піротехнічною сумішшю, задовольняє наступним умовам:

$$T_n \geq T_g, \quad (13)$$

де T_n – температура нижньої сторони оболонки, К; T_g – температура, при якій починається саморозігрів заряду суміші в результаті процесу екзотермічного окислення металевих пального в газоподібних продуктах термічного розкладання окиснювача, так звана температура займання частинок металу у вказаних середовищах [4, 10]. Виконання умови (13) призводить до швидкого осередкового займання заряду суміші (в межах $10^{-3} \dots 10^{-2}$ с [10]) з подальшим прискоренням процесу горіння суміші у закритому об'ємі, в якому відбувається різке збільшення температури нагріву і тиску навколишнього середовища, що, зрештою, призводить до руйнування окремих частин металеві оболонки та викиду у навколишнє середовище високотемпературних (до $3000 \dots 4000$ К [4]) продуктів згоряння суміші, а також нагрітих залишків оболонки і незгорілих залишків суміші, здатних займати та руйнувати навколишні об'єкти.

Для проведення розрахунків по формулам (11) та (12) були використані усі необхідні фізико-хімічні дані [4, 10], а також спеціалізоване програмне забезпечення MathCAD v.15 [11]. При цьому з врахуванням значень температур полум'їв найбільш використовуваних палих матеріалів та ступеня їх чорноти (див. табл. 1) для зовнішнього теплового потоку, що нагріває поверхню металевих оболонок сумішей в результаті можливого займання вказаних матеріалів, використовується наступний діапазон його зміни $q_{w0} = 1,5 \cdot 10^5 \dots 2,3 \cdot 10^6$ Вт/м², а також металева оболонка товщиною $H_1 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Результати розрахунків, представлених на рис. 3 та 4, показують, що температура нижньої

сторони оболонки сильно залежить від величини зовнішнього теплового потоку та часу його впливу на поверхню металеві оболонки. При цьому, зростання величини q_{w0} в діапазоні $1,5 \cdot 10^5 \dots 2,3 \cdot 10^6$ Вт/м² призводить до збільшення значень T_n у 5...6 разів для $t = 5 \dots 10$ с, а збільшення t до 10^2 с та більше веде до зростання T_n більше, ніж у 15...20 разів. Зіставлення результатів розрахунків з отриманими експериментальними даними (використовувались стандартні термометри ТПП-0679-01 та ТПР-0679-01 [4, 10], відносна похибка вимірювання температури не перевищує 1...2 %) показує, що відмінності між ними не перевищують 5...7 %.

Визначення можливих пожежовибухонебезпечних термовпливів на поверхню оболонки. Згідно експериментальним даним [4, 10] температури займання частинок широко використовуваних металів (Mg, Al, Zr) у кисневмісних середовищах лежать в наступних діапазонах: $T_g^{(i)} = 700 \dots 970$ К (індекс “i” відповідає: “1” – Mg, “2” – Al, “3” – Zr).

З порівняння вказаних вище діапазонів зміни температур $T_g^{(i)}$ ($i = \overline{1,3}$) з представленими на рис. 3 температурами T_n видно, що при певних значеннях теплових потоків q_{w0j}^* ($j = 1, 2, \dots$) та часів теплового впливу t_j^* ($j = 1, 2, \dots$) значення температури T_n стають значно вище $T_g^{(i)}$ (рис. 4). Таким чином, пожежовибухонебезпечні термовпливи на поверхню металевих оболонок виробів визначаються наступними співвідношеннями (табл. 2).

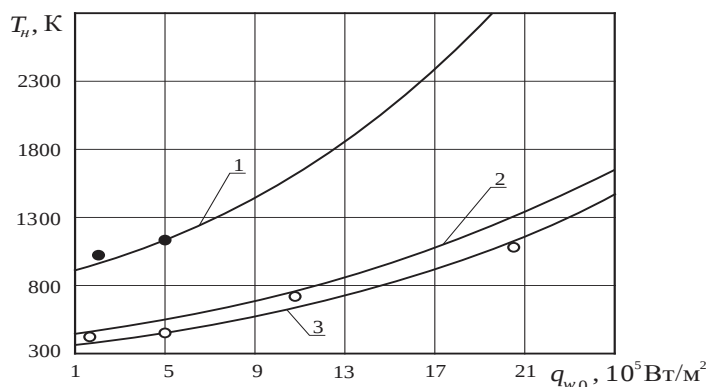


Рис. 3. Залежність температури нижньої поверхні оболонки від величини зовнішнього теплового потоку для різних значень часу теплового впливу ($T_0 = 300$ К; $H_1 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м): 1 – $t = 10^2$ с (● – експериментальні дані); 2 – $t = 60$ с; 3 – $t = 50$ с (○ – експериментальні дані)

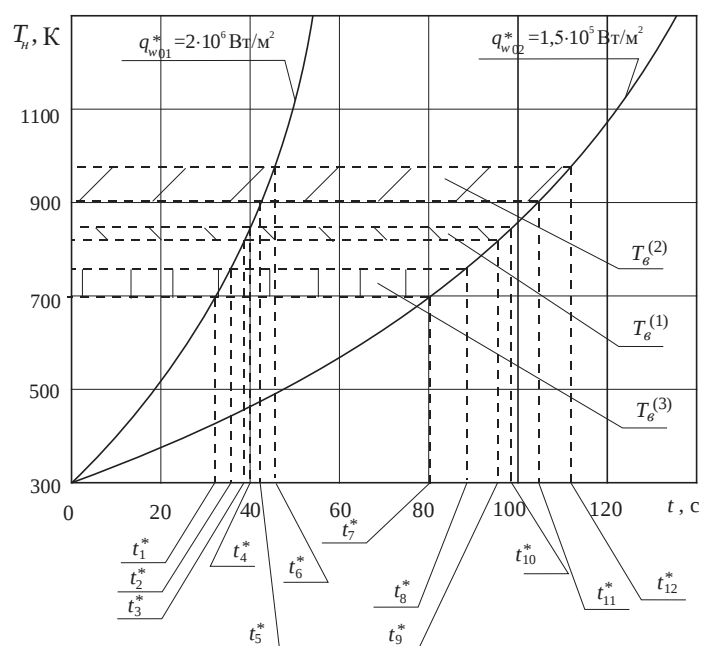


Рис. 4. Значення параметрів q_{w0j}^* и t_j^* для металевих зарядів піротехнічних сумішей

Висновки

1. Розроблено уточнену математичну модель нагріву піротехнічних сумішей зовнішнім тепловим потоком, що враховує температурні залежності теплофізичних властивостей матеріалу оболонки та заряду суміші (об'ємної теплоємності, коефіцієнта теплопровідності) та дозволяє більш точно розраховувати розподіл температури по товщині виробу (відносну похибку знижено до 5...7 % замість 10...12 % у існуючих моделях).

2. Встановлено, що збільшення величини теплового потоку від $1,5 \cdot 10^5$ до $2,3 \cdot 10^6$ Вт/м² призводить до зростання температури нижньої поверхні оболонки, що контактує з зарядом суміші, у 4...6 рази для часів тепло-

вого впливу $t = 5 \dots 15$ с; при збільшенні t до 100 с та більше, її значення зростають вже більше, ніж на порядок.

3. Вперше визначено гранично допустимі значення параметрів термовпливів (величини теплового потоку q_{w0j}^* та часів зовнішніх термовпливів t_j^* ($j = 1, 2, \dots$)) на поверхню металевих оболонок піротехнічних сумішей, перевищення яких веде до інтенсивного саморозігріву реакційноздатної суміші аж до її займання та прискорення горіння, що, у кінцевому підсумку, призводить до пожежовибухонебезпечних руйнувань сумішей.

Таблиця 2

Діапазони зміни гранично допустимих значень зовнішніх теплових потоків ($q_{w0j}^{(i)}$, $j = 1, 2, \dots$) та часів їх впливу (t_j^* , $j = 1, 2, \dots$) на металеві оболонки виробів

Суміш	Параметр	$q_{w0j}^{(1)}$, Вт/м ²	t_j^* , с
Mg + NaNO ₃ + органічна добавка		$2 \cdot 10^6$	$t_3^* < 39$
		$1,5 \cdot 10^5$	$t_7^* < 97$
Al + NaNO ₃ + органічна добавка		$2 \cdot 10^6$	$t_5^* < 41$
		$1,5 \cdot 10^5$	$t_{11}^* < 103$
Zr + NaNO ₃ + органічна добавка		$2 \cdot 10^6$	$t_1^* < 32$
		$1,5 \cdot 10^5$	$t_7^* < 80$

Список літератури

1. Шидловский А. А. Основы пиротехники. М.: Машиностроение, 1973. 320 с.
2. Шидловский А. А., Сидоров А. И., Силин Н. А. Пиротехника в народном хозяйстве. М.: Машиностроение, 1978. 231 с.
3. Силин Н. А., Ващенко В. А., Кашпоров Л. Я. и др. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем. М.: Машиностроение, 1982. 232 с.
4. Ващенко В. А., Кириченко О. В., Лега Ю. Г., Заика П. И., Яценко И. В., Цыбулин В. В. Процессы горения металлизированных конденсированных систем. К.: Наукова думка, 2008. 745 с.
5. Кириченко О. В. Определение участков на поверхности металлических корпусов пиротехнических изделий, подвергающихся разрушениям в условиях эксплуатации. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2008. № 1. С. 149–154.
6. Кириченко О. В. Повышение эффективности пиротехнических нитратосодержащих изделий в условиях их применения. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2009. № 2. С. 89–94.
7. Рябова І. Б., Сайчук І. В., Шаршанов А. Я. Термодинаміка і теплопередача у пожежній справі. Навчальний посібник. Харків: НУЦЗУ, 2010. 344 с.
8. Ващенко В. А., Котельников Д. И., Лега Ю. Г., Краснов Д. М., Яценко И. В., Кириченко О. В. Тепловые процессы при электронной обработке оптических материалов и эксплуатации изделий на их основе. К.: Наукова думка, 2006. 368 с.
9. Карташов Э. М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М.: Высшая школа, 1985. 324 с.
10. Силин Н. А., Ващенко В. А., Кашпоров Л. Я. и др. Металлические горючие гетерогенных конденсированных систем. М.: Машиностроение, 1976. 320 с.
11. Алексеев Е. М. Решение задач вычислительной математики в пакетах MathCAD, MATLAB, Maple9. 2006. 496 с.
2. Shidlovskii, A. A., Sidorov, A. I. and Silin, N. A. (1978) Pyrotechnics in the national economy. Moscow: Mashinostroenie, 231 p. [in Russian].
3. Silin, N. A., Vaschenko, V. A., Kashporov, L. Y. and others (1982) Combustion of metallized heterogeneous condensed systems. Moscow: Mashinostroenie, 232 p. [in Russian].
4. Vaschenko, V. A., Kiritchenko, O. V., Lega, Y. G., Zaika, P. I., Yatsenko, I. V., Tsybulin, V. V. (2008) Combustion processes of metallized condensed systems. Kyiv: Naukova dumka, 745 p. [in Russian].
5. Kiritchenko, O. V. (2008) Determination of areas on the surface of metal casings of pyrotechnic products subject to destruction under operating conditions. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, No. 1, pp. 149–154 [in Russian].
6. Kiritchenko, O. V. (2009) Increase of efficiency of pyrotechnic nitrate-containing products in conditions of their application. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, No. 2, pp. 89–94 [in Russian].
7. Ryabova, I. B., Saychuk, I. V. and Sharshanov, A. Y (2010) Thermodynamics and heat transfer in the fire. Tutorial. Kharkiv: National University of Civil Protection of Ukraine, 344 p. [in Ukrainian].
8. Vaschenko, V. A., Kotelnikov, D. I., Lega, Y. G., Krasnov, D. M., Yatsenko, I. V. and Kiritchenko, O. V. (2006) Thermal processes in the electronic processing of optical materials and the operation of products based on them. Kyiv: Naukova dumka, 368 p. [in Russian].
9. Kartashov, E. M. (1985) Analytical methods in the theory of the thermal conductivity of solids. Moscow: Vyshaya shkola, 324 p. [in Russian].
10. Silin, N. A., Vaschenko, V. A., Kashporov, L. Y. and others (1976) Metallic combustible heterogeneous condensed systems. Moscow: Mashinostroenie, 320 p. [in Russian].
11. Alekseev, E. M. (2006) Solving the problems of computational mathematics in packages MathCAD, MATLAB, Maple9, 496 p. [in Russian].

References

1. Shidlovskii, A. A. (1973) Basics of pyrotechnics. Moscow: Mashinostroenie, 320 p. [in Russian].

O. V. Kirichenko¹, *Dr.Tech.Sc.*,

¹ *Senior Researcher, Head of the Department of Fire and Prophylactic Work*

O. S. Dibrova¹, *adjunct*,

R. B. Motrichuk¹, *adjunct*,

E. O. Tyschenko², *Ph.D., Associate Professor, Deputy Head of Educational and Production Work*

V. V. Tsybulin³, *lecturer*

¹ *Cherkasy Institute of Fire Safety,*

Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine

² *Educational and methodical center of civil protection and life safety Cherkasy region*

30 Years of Victory str., 26, Cherkasy, 18034, Ukraine

³ *Cherkasy State Technological University*

Shevchenko blvd., 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

DEFINING THE ACCEPTABLE HEATING MODE PYROTECHNIC MIXTURE AT THEIR OPERATION

At the stage of designing and developing pyrotechnic mixtures, one must be able to predict the permissible modes of their heating, the excess of which leads to the ignition of charges of mixtures under metal shells of products, acceleration of their combustion with increasing heating temperatures and external pressures, which ultimately leads to fire explosives for surrounding objects destruction of mixtures.

The purpose of this work is to construct mathematical models of heating pyrotechnic mixtures with external heat sources and to develop methods for determining acceptable ranges of changes in their parameters, which do not lead to fire explosive fracturing of mixtures.

The refined mathematical model of heating of pyrotechnic mixtures with external thermal flow is developed, taking into account the temperature dependences of the thermophysical properties of the shell material and the charge of the mixture (volumetric heat, heat transfer coefficient) and allows more accurately calculate the temperature distribution along the thickness of the product. It was established that an increase in the value of the heat flux leads to an increase in the temperature of the lower surface of the shell that is in contact with the charge of the mixture. For the first time, the maximum allowable values of the parameters of thermal influences on the surface of metal shells of pyrotechnic mixtures, excess of which leads to intensive self-heating of the reactive mixture, up to its ignition and acceleration of combustion, which ultimately leads to fire-explosive fracturing of mixtures.

Keywords: *pyrotechnic products, the parameters of the thermal influences, processes of burning of mixtures.*

А. А. Кобозєва, д.т.н., професор,

зав. каф. інформатики та управління захистом інформаційних систем,

e-mail: alla_kobozeva@ukr.net

І. І. Бобок, к.т.н.,

ст. викл. каф. інформатики та управління захистом інформаційних систем,

e-mail: onu_metal@ukr.net

Одеський національний політехнічний університет

просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна

МЕТОД ВІДОКРЕМЛЕННЯ КЛОНУ ВІД ПРООБРАЗУ В ЦИФРОВОМУ ЗОБРАЖЕННІ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ ПОСТОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ

Клонування є на сьогоднішній день одним з найпоширеніших програмних засобів, використовуваних при неавторизованих змінах цифрових зображень (ЦЗ), роблячи задачу його виявлення актуальною. Часто визначення областей клону й прообразу виявляється недостатнім для ухвалення ключового рішення зацікавленими сторонами. Для підвищення інформативності результатів виявлення клонування необхідно мати можливість для відокремлення клону від прообразу, тобто визначення, яка саме з отриманих областей є неоригінальною – клоном. Найбільш складною ця задача є в умовах відсутності відмінностей у постобробці клону й прообразу. У роботі розроблений метод відокремлення клону від прообразу, виявлених у ЦЗ, на підставі теоретичних основ, запропонованих авторами раніше, ефективний в умовах відсутності будь-яких додаткових збурних дій на клоноване зображення. Основним кількісним параметром є норма відмітного околу радіуса 1, який будується для кожного з пари відповідних блоків, один з яких належить клону, а інший – прообразу, віддображаючи сукупну відмінність кожного з цих блоків від найближчих блоків-сусідів.

Запропонована алгоритмічна реалізація розробленого методу, ефективність якої перевищує ефективність єдиного аналога, інформація про який є доступною з відкритих джерел. Наведені результати обчислювального експерименту.

Ключові слова: цифрове зображення, неавторизовані зміни зображення, клон, прообраз, відокремлення клону від прообразу, відмітний окіл блоку.

Вступ. Порушення цілісності цифрового зображення (ЦЗ) з використанням такого програмного інструмента, як клонування, часто має місце на практиці. Клонування реалізоване у всіх сучасних графічних редакторах, дозволяє легко проводити потрібну для зацікавленої особи модифікацію зображення: усунення «зайвих» об'єктів, дублювання об'єктів, зміна їх місця розташування і т.д., роблячи задачу перевірки цілісності ЦЗ актуальною, а її ефективний розв'язок – необхідною умовою для можливості використання зображення з метою, що відрізняється від розважальної.

Велика кількість сучасних наукових робіт в області захисту інформації присвячена розробці методів виявлення областей клону й прообразу при клонуванні, що мало місце,

проведеному в різних умовах [1-3]. Задачі ж відокремлення клону від прообразу, тобто визначення, яка саме з попередньо виявлених областей є оригінальною частиною зображення (прообразом), а яка клоном, приділено недостатньо уваги, хоча результат її розв'язку може виявитися дуже важливим у тій або іншій ситуації [4], що очевидно пов'язано з її складністю. Хоча спроби розробки відповідних методів робилися [5-7], кожний з них має істотні недоліки, докладно розглянуті в [4], де авторами даної роботи запропоновані теоретичні основи для розв'язку задачі відокремлення клону від прообразу в умовах відсутності відмінностей у їх постобробці, що значно підвищує складність задачі, що розв'язується, в порівнянні з варіантом, коли клон зазнає

індивідуальної обробки (що не зачіпає прообраз) [6]. У ході розробки використаний блоково орієнтований підхід, у рамках якого введено поняття відмітного околу блоку ЦЗ, що є ключовим. Відмітний окіл довільного блоку B ЦЗ радіуса k представляє $(2k+1) \times (2k+1)$ -матрицю, елементи якої відображають відмінність B від блоків ЦЗ, що знаходяться від B на відстані, яка не перевищує k . При цьому сусідами блоку B , що знаходяться від нього на відстані k , названі блоки ЦЗ, місце розташування яких отримуємо шляхом зсуву B на k пікселів вправо, вліво, вгору, вниз, вздовж головної й побічної діагоналей (вгору, вниз). Відмінність між будь-якими 1×1 -блоками $B^{(1)}, B^{(2)}$ ЦЗ визначимо

подібно тому, як це зроблено в [4]: $\sum_{t,p=1}^1 r_{tp}$, де

$r_{tp}, t, p = \overline{1,1}$, – елементи 1×1 -матриці

$R = |B^{(1)} - B^{(2)}|$, де останнє співвідношення

розуміється в поелементному сенсі.

В [4] показано, що норма відмітного околу клону/прообразу дозволяє ефективно відокремлювати ці області у випадку, коли вони представляють із себе 1×1 -блок: для клону норма відмітного околу перевищує аналогічний параметр для прообразу. Показано, що максимальна ефективність відокремлення досягається у випадку радіуса відмітного околу, рівного 1. Однак області клону й прообразу найчастіше не є квадратними блоками, а мають більш складну форму, що необхідно врахувати при розробці методу відокремлення клону від прообразу.

Мета статті і постановка задач. Метою роботи є розробка методу відокремлення клону від прообразу, попередньо виявлених у ЦЗ, в умовах відсутності будь-яких додаткових збурних дій на зображення на підставі теоретичних основ, запропонованих в [4].

Для досягнення мети в роботі вирішуються наступні задачі:

1. З урахуванням використання блоково орієнтованого підходу визначити, якими повинні бути параметри пар відповідних блоків у виділених попередньо областях клону й прообразу для їхнього ефективного використання в процесі відокремлення

клону від прообразу (розмір, місце розташування в областях клону/прообразу);

2. Для розв'язку задачі 1 спочатку побудувати розбивку множини пікселів, що належать області клону/прообразу, на підмножини так, щоб пікселі з різних підмножин, при їхній наявності в парі відповідних блоків із клону й прообразу, приводили до якісних відмінностей відмітних околів згаданих блоків у порівнянні з варіантом, коли розглянуті відповідні блоки із клону й прообразу не містять пікселів з різних підмножин;
3. Запропонувати варіант алгоритмічної реалізації розробленого методу відокремлення області клону від прообразу, оцінити його ефективність за допомогою обчислювального експерименту.

Основна частина. Припустимо, що після клонування не робилася ніяка постобробка клону/прообразу, ЦЗ збережене без втрат. Нехай результатом роботи деякого використаного методу виявлення клонування є виділені області клону й прообразу в ЦЗ: $\overline{T}, \overline{T}$. Будемо вважати, що $\overline{T}, \overline{T}$ є підобластями реальних областей $\overline{P}, \overline{P}$ клону й прообразу: $\overline{T} \subseteq \overline{P}, \overline{T} \subseteq \overline{P}$, що відповідає результатам роботи більшості існуючих для розв'язку цієї задачі методів (ідеальний варіант, якщо $\overline{T} = \overline{P}, \overline{T} = \overline{P}$).

Будемо називати граничним кожний такий піксель області T ЦЗ, будь-який окіл якого (з радіусом $r \in N$) буде містити такі пікселі, що належать, і такі, що не належать T ; внутрішнім будемо називати кожний такий піксель T , для якого існує такий його окіл, який містить у собі тільки пікселі з області T ; внутрішністю області T назвемо сукупність внутрішніх пікселів T (рис.1).

Візьмемо пари відповідних 1×1 -блоків виявлених областей $\overline{T}, \overline{T}$ так, щоб вони належали внутрішностям клону й прообразу (рис.2). Таких пар може бути не одна. Нехай таких пар обрано

$$t \in N : \overline{B}^{(1)}, \overline{B}^{(1)} ; \overline{B}^{(2)}, \overline{B}^{(2)} ; \dots ; \overline{B}^{(t)}, \overline{B}^{(t)}.$$

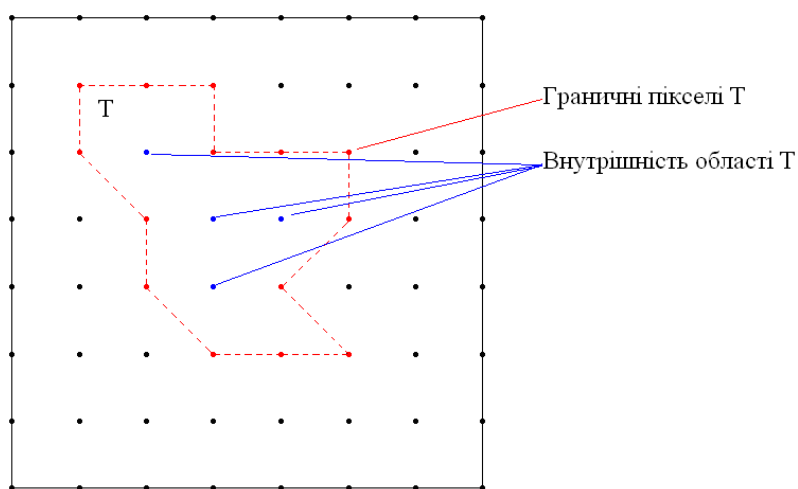
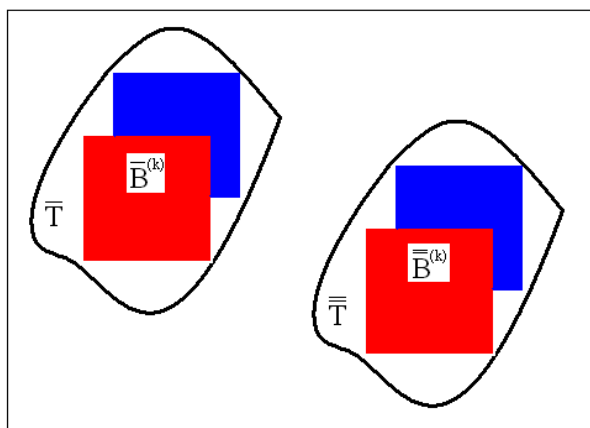


Рис. 1. Граничні пікселі, внутрішність області Т ЦЗ

Рис. 2. Виявлені на ЦЗ області $\bar{T}$, $\bar{\bar{T}}$ з парами відповідних (однаково пофарбованих) $l \times l$ -блоків

Вимога приналежності блоків $\bar{B}^{(k)}$, $\bar{\bar{B}}^{(k)}$, $k = \bar{1}, \bar{t}$, внутрішностям $\bar{T}$, $\bar{\bar{T}}$ має своєю метою забезпечення можливості точного визначення моменту виходу формованих відмітних околів відповідних блоків за межі $\bar{P}$, $\bar{\bar{P}}$ кло-ну/прообразу. Дійсно, для блоків $\bar{B}^{(k)}$, $\bar{\bar{B}}^{(k)}$ у випадку, якщо вони є підмножинами внутрішностей $\bar{T}$, $\bar{\bar{T}}$, то з урахуванням припущення, зробленого вище, вони є підмножинами внутрішностей областей $\bar{P}$, $\bar{\bar{P}}$. Тоді їх відмітні околи одиничного радіуса очевидно мають однакову норму, оскільки після клонування ЦЗ не зазнало ніякої додаткової обробки. Будемо розглядати пари відповідних блоків ЦЗ, розташування яких відповідає послідовному

зсуву $\bar{B}^{(k)}$, $\bar{\bar{B}}^{(k)}$ на $1, 2, \dots, r$ пікселів у довільному напрямку. До тих пір, поки розглянуті пари будуть відповідати блокам, що знаходяться у межах внутрішностей $\bar{T}$, $\bar{\bar{T}}$, різниця норм відповідних їм відмітних околів буде дорівнювати 0. Як тільки згадане значення буде відрізнятися від 0, це буде означати, що чергова пара відповідних блоків містить у собі граничні пікселі $\bar{P}$, $\bar{\bar{P}}$, а отже блоки, що є безпосередніми сусідами тих, що розглядаються у даний момент, які використовуються при побудові відмітних околів, містять пікселі, що не належать $\bar{P}$, $\bar{\bar{P}}$. Ці пікселі для пікселів області прообразу є оригінальними сусідами, а для області клоу такими, які в оригінальному ЦЗ їх сусідами не є. Все це приведе до того, що відмітний окіл блоку, який відпо-

відає клону, з великою ймовірністю буде мати норму більше, ніж аналогічний окіл для блоку, що відповідає області прообразу, вказуючи на розрив кореляційних зв'язків між значеннями пікселів, що знаходяться поруч в оригінальному ЦЗ, при створенні клону, що детально досліджено в [4]. Ця властивість і є основною для організації процесу відокремлення клону від прообразу в умовах відсутності будь-якої їх постобробки. Тут необхідно відзначити наступне. Момент виходу за межі областей $\bar{P}, \bar{P}$ пари відповідних блоків $\bar{R}^{(k)}, \bar{R}^{(k)}$, місце розташування яких відповідає зсуву $\bar{B}^{(k)}, \bar{B}^{(k)}$ на певну кількість пікселів у певному напрямку, може відбутися при дуже кількісно незначному включенні «сторонніх», тобто таких, що не належать $\bar{P}, \bar{P}$, пікселів у блоки-сусіди (наприклад, 1-2 пікселя), що використовуються при побудові відмітних околів для $\bar{R}^{(k)}, \bar{R}^{(k)}$ одиничного радіусу. У цьому випадку відмінність у нормах відмітних околів $\bar{R}^{(k)}, \bar{R}^{(k)}$ може не вірно вказати на клон у силу того, що відмінності для значень одиничних пікселів оригінальної й неоригінальної областей ЦЗ, загалом кажучи, можна розглядати як випадкову величину, що не дає об'єктивної якісної оцінки співвідношення норм відмітних околів $\bar{R}^{(k)}, \bar{R}^{(k)}$. Для врахування такої ситуації має сенс проводити порівняння значень відмітних околів відповідних блоків при виході за межі $\bar{P}, \bar{P}$ не один раз (зсовуючи напочатку виділені блоки $\bar{B}^{(k)}, \bar{B}^{(k)}$ в одному обраному (випадково) напрямку), а кілька разів, досягаючи границі $\bar{P}, \bar{P}$, рухаючись у різних напрямках щодо первісного положення блоків $\bar{B}^{(k)}, \bar{B}^{(k)}$ і роблячи висновок про те, яка з $\bar{T}, \bar{T}$ є клоном, а яка прообразом, залежно від того, яка з цих областей частіше визначалася як клон, а яка як прообраз (з врахуванням усіх розглянутих напрямків зсуву).

У зв'язку з вищесказаним пропонується метод відокремлення області клону від прообразу КР2, основні кроки якого представлені нижче.

Крок 1. Нехай $\bar{T}, \bar{T}$ – виявлені попередньо в ЦЗ області клону й прообразу.

1.1. Визначити: $\bar{T}_V, \bar{T}_V$ – внутрішності $\bar{T}, \bar{T}$ відповідно;

1.2. Визначити: $\bar{B}^{(1)}, \bar{B}^{(1)}$; $\bar{B}^{(2)}, \bar{B}^{(2)}$; ...; $\bar{B}^{(t)}, \bar{B}^{(t)}$ – пари відповідних 1×1 -блоків ЦЗ таких, що

$$\bar{B}^{(k)} \subseteq \bar{T}_V, \bar{B}^{(k)} \subseteq \bar{T}_V, k = \bar{1}, t. \quad (1)$$

1.3. Надати: $\bar{p} = 0, \bar{p} = 0$ – лічильники, що показують, скільки разів у ході роботи методу як клон визначалася область $\bar{T}, \bar{T}$ відповідно.

Крок 2. Для кожної пари відповідних блоків $\bar{B}^{(k)}, \bar{B}^{(k)}$, $k = \bar{1}, t$, виділених попередньо областей клону й прообразу:

2.1. Для блоків $\bar{B}^{(k)}, \bar{B}^{(k)}$ отримати відповідно $\bar{R}^{(k)}, \bar{R}^{(k)}$ – блоки ЦЗ, розташування яких відповідає зсуву $\bar{B}^{(k)}, \bar{B}^{(k)}$ на 1 піксель в обраному напрямку v .

2.2. Для блоків $\bar{R}^{(k)}, \bar{R}^{(k)}$ побудувати $\bar{O}, \bar{O}$ – відповідні відмітні околи радіуса 1.

2.3. Знайти $\|\bar{O}\|, \|\bar{O}\|$ – матричні норми $\bar{O}, \bar{O}$.

2.4. Якщо

$$\|\bar{O}\| = \|\bar{O}\|,$$

то

$\bar{R}^{(k)} \subseteq \bar{P}_V, \bar{R}^{(k)} \subseteq \bar{P}_V$, де $\bar{P}_V, \bar{P}_V$ – внутрішності $\bar{P}, \bar{P}$ відповідно,

границі клону й прообразу не досягнуті,

$\bar{B}^{(k)} = \bar{R}^{(k)}, \bar{B}^{(k)} = \bar{R}^{(k)}$, перехід на крок 2.1;

інакше

якщо

$$\|\bar{O}\| > \|\bar{O}\|,$$

то

$$\bar{p} = \bar{p} + 1,$$

інакше

$$\bar{p} = \bar{p} + 1.$$

2.5. Якщо

потрібно уточнення отриманих

результатів $\bar{p}$, $\bar{p}$,

то

повернутися до первісних блоків

$\bar{B}^{(k)}$, $\bar{B}^{(k)}$, місце розташування яких

визначено на кроці 1; змінити напрямок v їх зсуву. Перехід на крок 2.1.

Крок 3 (відокремлення клону від прообразу).

Якщо

$$\bar{p} > \bar{p},$$

то

$\bar{T}$ – клон, $\bar{T}$ – прообраз,

інакше

$\bar{T}$ – прообраз, $\bar{T}$ – клон.

В алгоритмічній реалізації методу:

- як значення параметру v використовуються 8 різних напрямків зсуву блоків: додатний, від'ємний напрямки координатних осей, а також напрямки, що відповідають діагоналям (головний й побічний) блоків (вздовж них – вгору, вниз);

- $t=1$: у внутрішностях областей $\bar{T}$, $\bar{T}$ клону й прообразу обиралися лише одна пара відповідних блоків: $\bar{B}^{(1)}$ і $\bar{B}^{(1)}$;

- $l \geq 8$.

Для оцінки ефективності запропонованої алгоритмічної реалізації методу *KP2* у се-

редовищі Matlab був проведений обчислювальний експеримент, у якому було задіяно 400 ЦЗ із бази NRCS [8]. Експеримент будувався наступним чином. Оригінальні ЦЗ піддавалися клонуванню (без обмежень на форму областей прообразу/клону, при цьому клон і прообраз були такими, щоб лінійні розміри прямокутників, що їх описують, не були менше 8 (обмеження пов'язано з тим, що існуючі на сьогоднішній день методи й алгоритми не виявляють систематично області клону й прообразу менших розмірів)), після чого зберігалися у форматі без втрат (Tif). Області клону й прообразу $\bar{T}$, $\bar{T}$ вважалися відомими (виявленими деяким відповідним алгоритмом) на кроці 1 алгоритмічної реалізації розробленого методу. Для зменшення обчислювальної складності алгоритму l вибиралося якнайбільше з урахуванням задоволення умов (1), що накладаються на блоки $\bar{B}^{(1)}$ і $\bar{B}^{(1)}$. Аналіз областей клону/прообразу чергового ЦЗ завершувався, як тільки $\bar{p}$ чи $\bar{p}$ досягало значення 5 (з урахуванням використання 8 різних напрямків для v). Результати експерименту представлені в табл.1, де кількість помилок визначалася відносною кількістю ЦЗ (вираженою у відсотках від загальної кількості проаналізованих зображень), де клон і прообраз були відокремлені не вірно.

Необхідно уточнити, що вибір розміру l очевидно визначався розмірами областей клону й прообразу. Як впливає із наведених результатів обчислювального експерименту, ефективність розробленого алгоритму практично не залежить від розмірів областей клону й прообразу й перевершує ефективність єдиного аналога [7], інформація про який доступна з відкритих джерел.

Таблиця 1

Відносна кількість (%) помилок при відокремленні клону від прообразу в умовах відсутності будь-якої постобробки клонованого ЦЗ

l	8	16	24	32
Кількість помилок	6.5	7	5.5	4.5

Зауваження. Вище було зроблене припущення, що $\bar{T}$, $\bar{T}$ є підобластями реальних областей $\bar{P}$, $\bar{P}$ клону й прообразу. Існуючі методи виявлення клонування не завжди приводять до такого результату. Наприклад, при

виділенні областей клону/прообразу можлива ситуація, коли в результаті виходять області $\bar{T}$, $\bar{T}$, відносно яких можна гарантувати, що вони мають непусте перетинання з реальними клоном/прообразом, але не обов'язково є їх

підобластями [9] (рис.3). У цьому випадку можлива ситуація, коли серед обраних на кроці 1 пар відповідних блоків знайдеться така (можливо, не одна) $\bar{B}^{(\bar{k})}$ і $\bar{B}^{(\bar{k})}$, для якої її блоки вийдуть за межі $\bar{P}, \bar{P}$ (рис.3(a)), що приведе до того, що вже для $\bar{B}^{(\bar{k})}$ і $\bar{B}^{(\bar{k})}$ буде спостерігатися ситуація, коли для норм відповідних їм відмітних околів $\bar{O}, \bar{O}$ буде виконуватися співвідношення: $\|\bar{O}\| \neq \|\bar{O}\|$, тим самим ускладнюючи процес визначення моменту виходу відповідних блоків за межі реальних клону й прообразу. Це не знижує цінність розробленого методу КР2, але вимагає передбачення в ньому можливості таких [9] ситуацій. У зв'язку з цим пропонується наступна модифікація кроку 1 розробленого методу.

Крок 1.

1.1. і 1.2 – аналогічні 1.1 і 1.2 методу КР2.

1.3. (Застосовується тільки в тому випадку, якщо не гарантоване, що $\bar{T} \subseteq \bar{P}, \bar{T} \subseteq \bar{P}$) Перевірити, що $\bar{B}^{(\bar{k})} \in \bar{P}_V, \bar{B}^{(\bar{k})} \in \bar{P}_V, k = \bar{1}, \bar{t}$, де $\bar{P}_V, \bar{P}_V$ – внутрішності $\bar{P}, \bar{P}$. Для цього:

1.3.1 Для блоків $\bar{B}^{(\bar{k})}, \bar{B}^{(\bar{k})}, k = \bar{1}, \bar{t}$, побудувати $\bar{O}^{(\bar{k})}, \bar{O}^{(\bar{k})}$ – відповідно відмітні околи радіуса 1;

1.3.2. Знайти $\|\bar{O}^{(\bar{k})}\|, \|\bar{O}^{(\bar{k})}\|, k = \bar{1}, \bar{t}$.

1.3.3. Якщо

$\exists \bar{k} \in \{1, 2, \dots, t\}$ таке, що

$$\|\bar{O}^{(\bar{k})}\| \neq \|\bar{O}^{(\bar{k})}\|,$$

то

$$\bar{B}^{(\bar{k})} \notin \bar{P}_V, \bar{B}^{(\bar{k})} \notin \bar{P}_V,$$

блоки $\bar{B}^{(\bar{k})}, \bar{B}^{(\bar{k})}$ обрані невірно, перехід на крок 1.2 для уточнення

$$\bar{B}^{(\bar{k})}, \bar{B}^{(\bar{k})}.$$

1.4. Аналогічно кроку 1.3 методу КР2.

Запропонована модифікація кроку 1 забезпечує відсутність обмежень на область застосування розробленого в роботі методу КР2. Дійсно, якщо буде мати місце ситуація, представлена на рис. 3 (а), це відразу буде відзначено на кроці 1.3 методу.

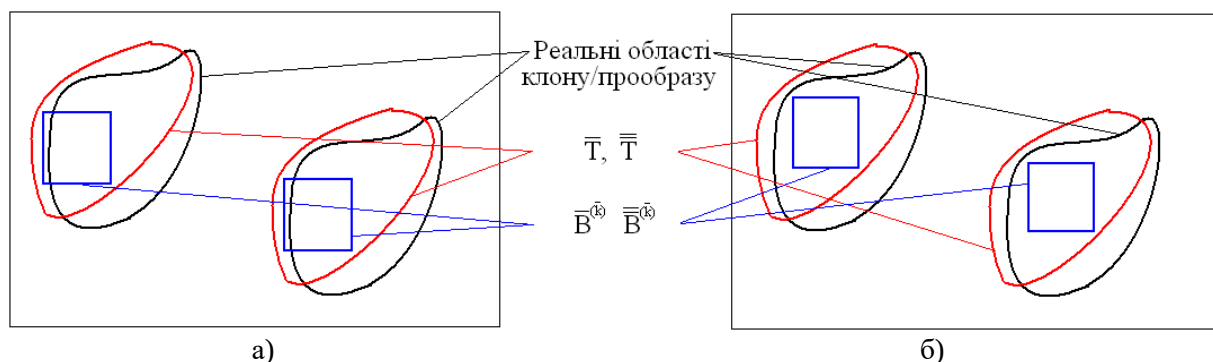


Рис. 3. Можлива відповідність між реальними областями клону й прообразу й областями $\bar{T}, \bar{T}$ і можливі розташування $\bar{B}^{(\bar{k})}$ і $\bar{B}^{(\bar{k})}$: а) – блоки $\bar{B}^{(\bar{k})}$ і $\bar{B}^{(\bar{k})}$ не належать реальним областям клону/прообразу; б) – $\bar{B}^{(\bar{1})}$ і $\bar{B}^{(\bar{1})}$ належать непустим перетинанням реальних клону й прообразу й $\bar{T}, \bar{T}$

І оскільки перетин реального й виділеного клону/прообразу не є порожньою множиною, то існує можливість для визначення $\bar{B}^{(\bar{k})}$ і $\bar{B}^{(\bar{k})}$ так, щоб при виконанні умов (1),

вони не виходили за межі реальних клону й прообразу, тобто:

$$\bar{B}^{(\bar{k})} \subseteq (\bar{T} \cap \bar{P})_V, \bar{B}^{(\bar{k})} \subseteq (\bar{T} \cap \bar{P})_V,$$

де $(\overline{T} \cap \overline{P})_V$, $(\overline{T} \cap \overline{P})_V$ – внутрішності областей $\overline{T} \cap \overline{P}$, $\overline{T} \cap \overline{P}$ відповідно (рис. 3(б)).

Висновки. У роботі на основі теоретичних положень, отриманих авторами раніше, розроблений метод для відокремлення області клону від прообразу, попередньо виявлених у ЦЗ, в умовах відсутності будь-яких додаткових збурних дій на зображення. Запропонована алгоритмічна реалізація методу перевищує єдиний відомий на сьогоднішній день аналог по ефективності, забезпечуючи не більш 7% помилок при розв'язку розглянутої задачі.

Розроблений метод дозволить підвищити інформативність результатів виявлення клонування в ЦЗ.

Список літератури

1. Shivakumar, B. L., Santhosh Baboo, S. Detecting Copy-Move Forgery in Digital Images: A Survey and Analysis of Current Methods. *Global Journal of Computer Science and Technology*. 2010. Vol. 10, Iss. 7. P. 61–65.
2. Ratnam Singh, Mandeep Kaur Copy Move Tampering Detection Techniques: A Review. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. Vol. 11, No 5. P. 3610–3615.
3. Rani, S. Jayamohan, M., Sruthy, S. A Survey of Copy-Move Forgery Detection Techniques for Digital Images. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*. 2015. Vol. 5, Iss.2. P. 419–426.
4. Бобок І. І., Кобозєва А. А. Теоретичні основи методу відокремлення клону від прообразу в цифровому зображенні. *Безпека інформації*. 2018. Т. 24, № 1. С. 197–203.
5. Кобозєва А. А., Бобок І. І., Дзюбинская Л. М. Выявление нарушений целостности цифрового изображения путем использования стеганографических алгоритмов. *Информатика та математичні методи в моделюванні*. 2015. Т. 5, № 2. С. 129–134.
6. Лебедева Е. Ю. Метод локализации и идентификации оригинальной и клонированной областей изображения. *Информатика та математичні методи в моделюванні*. 2014. Том 4, № 1. С. 76–84.
7. Бобок І. І. Метод відокремлення клону від прообразу в цифровому зображенні в умо-

вах відсутності відмінностей при їх пост обробці. *Информатика та математичні методи в моделюванні*. 2017. Т. 7, № 4. С. 298–307.

8. NRCS Photo Gallery. *United States Department of Agriculture*. Washington, USA. URL: <http://photogallery.nrcs.usda.gov> (Дата обращения: 26.07.2012).
9. Григоренко С. М. Розвиток методу виявлення клонування в цифровому зображенні в умовах додаткових збурних дій. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. 2016. Вип. 1 (31). С. 85–98.

References

1. Shivakumar, B. L. and Santhosh Baboo, S. (2010) Detecting Copy-Move Forgery in Digital Images: A Survey and Analysis of Current Methods. *Global Journal of Computer Science and Technology*, Vol. 10, Iss. 7, pp. 61–65.
2. Ratnam Singh and Mandeep Kaur (2016) Copy Move Tampering Detection Techniques: A Review. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 11, No 5, pp. 3610–3615.
3. Rani, S., Jayamohan, M. and Sruthy, S. (2015) A Survey of Copy-Move Forgery Detection Techniques for Digital Images. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, Vol.5, Iss.2, pp. 419–426.
4. Bobok, I. I. and Kobozeva, A. A. (2018) Theoretical foundations for the method of separating the clone from the prototype in a digital image. *Bezpeka informatsii*, Vol. 24, No. 1, pp. 197–203 [in Ukrainian].
5. Bobok, I. I. and Kobozeva, A. A. (2015) Identifying the unauthorized changes of images areas that exposed to steganography algorithm. *Informatyka ta matematychni metody v modeliuvanni*, Vol.5, No. 2, pp. 129–134 [in Russian].
6. Lebedeva, H. Yu. (2014) Localization and identification method of original and cloned image areas. *Informatyka ta matematychni metody v modeliuvanni*, Vol 4, No. 1, pp. 76 – 84 [in Russian].
7. Bobok, I. I. (2017) Method for separating of clone and prototype in a digital image in the conditions of the absence of differences in their post-processing. *Informatyka ta ma-*

- tematychni metody v modeliuvanni*, Vol. 7, No. 4, pp. 276-284 [in Ukrainian].
8. NRCS Photo Gallery. *United States Department of Agriculture*. Washington, USA. URL: <http://photogallery.nrcs.usda.gov> (Data obrashcheniya: 26.07.2012).
9. Grygorenko, S. M. (2016) Development of method for detection of cloning in digital images under additional disturbing influences. *Pravove, normatyvne ta metrolohichne zabezpechennia systemy zakhystu informatsii v Ukraini*. No. 1(31), pp. 85–98 [in Ukrainian].

A. A. Kobozeva, *Dr.Tech.Sc., professor*

I. I. Bobok, *Ph.D. (Eng.)*

Odessa National Polytechnic University
Shevchenko ave., 1, Odessa, 65044, Ukraine

METHOD OF SEPARATING THE CLONE FROM THE PROTOTYPE IN DIGITAL IMAGE WITHOUT THE IMAGE PROCESSING

Cloning is one of the most used software tools for unauthorized changes to digital images. Therefore, the task of identifying cloning is actual. To increase the information value of cloning detection results it is necessary to separate the clone from the prototype, it is necessary to determine which of the obtained regions is a clone. If the postprocessing of the clone and the prototype is the same, then this task is the most difficult. We will assume that the clone and prototype are found in the digital image. The method of separation of the clone from the prototype has been developed. It is based on theoretical propositions suggested by the authors earlier. The method is effective in the absence of post-processing of the image. We consider pairs of corresponding blocks from the regions of the clone and the prototype. A distinctive neighborhood of radius 1 is constructed for each block. The distinctive neighborhood reflects the cumulative difference of the block from the nearest neighboring blocks. The norm of the distinctive neighborhood of radius 1 is the main quantitative indicator that allows us to separate the clone from the prototype.

The algorithm that implements the developed method is proposed. The efficiency of the algorithm exceeds the efficiency of existing analogues. The results of the computational experiment are given.

Keywords: *digital image, unauthorized image changes, clone, prototype, separation the clone from the prototype, distinctive neighborhood of the block*

О. М. Пилипенко, д.т.н., професор,

О. В. Огій, асистент

e-mail: ogiy111@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ТАРИФУ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ АВТОБУСНИМ ТРАНСПОРТОМ У м. ЧЕРКАСИ

Наведено методику розрахунку мінімальної величини тарифу на пасажирські перевезення, що враховує інтереси транспортних підприємств та пасажирів. Розрахунок проводиться методом економічно обґрунтованих витрат, який базується на визначенні економічно обґрунтованої величини собівартості однієї поїздки пасажирів, а також враховує рентабельність підприємства-перевізника. Представлено розрахунки соціально орієнтованого тарифу на основі платоспроможності населення.

Ключові слова: міський громадський транспорт; пасажирські перевезення; тариф на перевезення; вартість проїзду; рентабельність перевезень.

Постановка проблеми. В лютому 2018 р. перевізники, що обслуговують автобусні маршрути м. Черкаси звернулись до керівництва міста з вимогою підвищити тариф з 4,00 до 5,00 грн., і після негативної відповіді на пару годин влаштували страйк, під час якого автобуси з'їхали з маршрутів. Цим було викликано транспортний колапс, і лише випуск на лінію додаткових тролейбусів КП «Черкасиелектротранс» ЧМР частково вирішив проблему.

Актуальність теми дослідження, що проводиться, визначається тим, що в умовах ринкової економіки потрібно застосування нових підходів до ціноутворення, принципів і методів побудови пасажирських тарифів, які дають змогу адаптувати державну тарифну політику у сфері пасажирського автомобільного транспорту до сучасних економічних і соціальних умов.

Аналіз останніх публікацій. Проведений аналіз літератури виявив, що для розрахунку тарифу на транспортні послуги можливо застосовувати три основні методи:

- 1) метод індексації [1, 2];
- 2) метод економічно обґрунтованих витрат [3];
- 3) метод соціально орієнтованого тарифу [4, 5].

При застосуванні *методу індексації* раніше встановлені тарифи на транспортні послуги індексуються з урахуванням прогнозного індексу споживчих цін, затвердженого в установленому порядку. При цьому зазначений прогнозний індекс застосовується регулюю-

чим органом з урахуванням періоду регулювання.

За *методом економічно обґрунтованих витрат* тариф визначається шляхом ділення величини необхідної валової виручки (сума повної собівартості і прибутку пасажирських перевезень, за вирахуванням дотацій) на обсяг перевезень.

За *методом соціально орієнтованого тарифу* розраховується максимальний рівень тарифу. Для цього витрати на транспортні послуги (частка транспортних витрат, помножена на середньомісячний дохід) діляться на середню кількість поїздок в місяць.

Метою дослідження є виявлення особливостей формування і регулювання транспортних тарифів у м. Черкаси і по Україні в цілому.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до чинного законодавства органи виконавчої влади не рідше одного разу в рік встановлюють граничні тарифи на перевезення пасажирів і багажу всіма видами громадського транспорту. Тарифи визначаються залежно від виду транспортного засобу. Граничний тариф формується, виходячи з економічно обґрунтованих витрат підприємств-перевізників, і припускає їх беззбиткову діяльність. За узгодженням з адміністрацією перевізники, що здійснюють перевезення пасажирів, мають право самостійно встановлювати вартість проїзду, систему знижок і проїзних квитків. При цьому вартість однієї поїздки не повинна перевищувати граничний рівень, затверджений місцевою владою.

Економічно обґрунтований тариф (T_{eo}) на перевезення пасажирів будь-яким видом міського громадського транспорту розраховується за формулою [6]:

$$T_{eo} = \frac{C + Pr - P_d}{Q}, \quad (1)$$

де C – експлуатаційні витрати (собівартість) по перевезенню пасажирів цим видом транспорту, грн.;

Pr – прибуток (до 15 % від собівартості), грн.;

P_d – розмір дотацій на перевезення пільгових пасажирів, грн.;

Q – кількість перевезених пасажирів, осіб.

Величина собівартості з розрахунку на 1 км пробігу на маршруті при перевезеннях міським автотранспортом (автобусом) розраховується за формулою [6]:

$$C = P_{on} + B_{on} + P_n + P_{mm} + P_{mo} + P_{ш} + AM + IB \quad (2)$$

де P_{on} – витрати на оплату праці водіїв і кондукторів;

B_{on} – відрахування на соціальні потреби від величини витрат на оплату праці водіїв і кондукторів;

P_n – витрати на паливе для маршрутних автобусів [7];

P_{mm} – витрати на мастильні та інші експлуатаційні матеріали для маршрутних автобусів [7];

P_{mo} – витрати на технічне обслуговування і експлуатаційний ремонт маршрутних автобусів;

$P_{ш}$ – витрати на знос і ремонт шин маршрутних автобусів;

AM – амортизація маршрутних автобусів;

IB – інші витрати по звичайних видах діяльності в сумі з непрямими витратами.

Розрахунок тарифу за цим методом ускладнений тому, що перевізники, як правило, приховують інформацію про реальний пробіг автобусів, які працюють на маршрутах (а отже, і експлуатаційні витрати, які прямо пропорційні до 1 км пробігу), та кількість перевезених пасажирів.

Для удосконалення методики розрахунку вартості проїзду на автобусному пасажирському громадському транспорті в м. Черкаси пропонується, окрім розрахунку тарифу *методом економічно обґрунтованих витрат*, застосувати розрахунок *методом соціально орієнтованого тарифу*. Використання цього методу дасть можливість оцінити доступність тарифів, встановлених регіональною владою, для населення міста.

Для розрахунку такого тарифу в м. Черкаси необхідно:

1) визначити платоспроможність населення на послуги міського пасажирського транспорту шляхом встановлення частки транспортних витрат у середньомісячному доході жителів міста;

2) визначити середньомісячний дохід як середньозважену величину за питомою вагою розподілу жителів по доходах, тобто не враховуються ті, хто одержують дуже низькі й дуже високі доходи;

3) розрахувати максимальний рівень тарифу, перевищення якого негативно відіб'ється на соціальному становищі населення.

Соціально орієнтований тариф (T_{co}) на пасажирські перевезення розраховується за формулою [6]:

$$T_{co} = \frac{D_{cp} \cdot P_s}{K_n}, \quad (3)$$

де D_{cp} – середньомісячний дохід, грн. [8];

P_s – максимальна частка транспортних витрат населення на послуги міського пасажирського транспорту, %;

K_n – середня кількість поїздок на місяць.

Таким чином, рівень тарифу (T) на пасажирські перевезення повинен знаходитися в наступному діапазоні:

$$T_{eo} < T < T_{co}. \quad (4)$$

Встановлення тарифу на пасажирські перевезення нижче економічно обґрунтованого не забезпечить підприємство необхідними доходами для здійснення його діяльності по перевезенню. А при встановленні рівня тарифу вище соціально орієнтованого знизиться попит на пасажирські перевезення, і це негативно позначиться на соціальному становищі населення.

Дослідження показують, що частка місячної заробітної плати, яка витрачається на проїзд у міському транспорті, в різних містах Європи коливається від 1 % (Люксембург) до 7 % (Лондон) (рис. 1).

Порівнюючи найменші з цих показників, бачимо, що найменше – до 2 % заробітної плати – на транспорт витрачають у Франції, Італії, Австрії, Ісландії і країнах Бенілюксу. Від 2 до 3 % платять у скандинавських країнах, Німеччині, Польщі, Чехії, Словаччині, Румунії, Словенії, Греції, Вірменії. Низькі показники у більшості випадків забезпечуються за рахунок дешевих місячних проїзних.

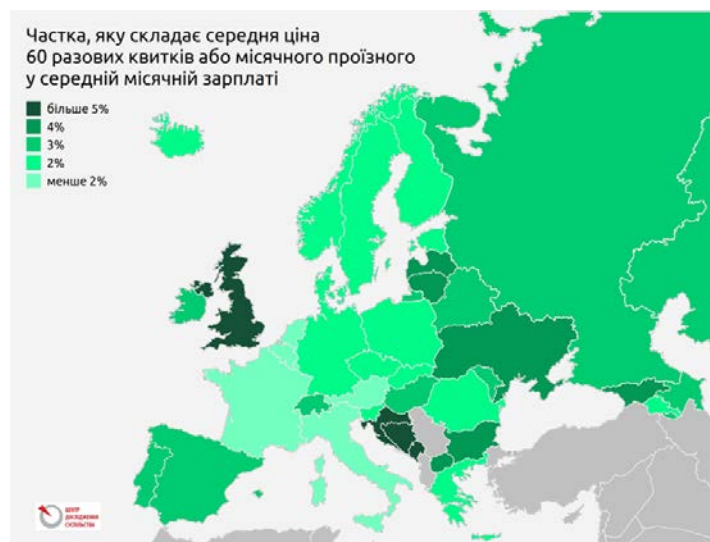


Рис. 1. Частка заробітної плати, що витрачається на проїзд у країнах Європи

Найдорожчий проїзд – у Великобританії. У першу десятку найдорожчих входять також низка балканських країн (Боснія і Герцеговина, Македонія, Хорватія, Чорногорія), Болгарія, Латвія, Литва, Грузія, а також Україна [9, 10].

В Україні частка транспортних витрат на послуги міського пасажирського транспорту в середньомісячному доході населення становить приблизно 4 % сумарних грошових витрат ($P_s = 0,04$).

Відповідно до мінімального набору послуг в цілому по Україні середня кількість поїздок в місяць для формування обсягу транспортних послуг визначена у розмірі $K_n = 60$ поїздок (що передбачає дві поїздки в день).

Результати визначення соціально орієнтованого тарифу на пасажирські перевезення міським автобусом та порівняння з фактичним (встановленим) тарифом у м. Черкаси наведено в табл. 1, а їх графічні залежності зображено на рис. 2.

Таблиця 1

Порівняння доходу і тарифу на проїзд у міському автобусі в м. Черкаси

Рік	Середньо-місячний дохід D_{cp} , грн.	Соціально орієнтований тариф T_{co} , грн.	Діючий тариф T , грн.	Різниця тарифів, $T_{co} - T$, грн.	Частка транспортних витрат P_s , %
01.2015	2742	1,83	2,50	-0,67	5,47
01.2016	3484	2,32	3,00	-0,68	5,17
01.2017	5055	3,37	4,00	-0,63	4,75
01.2018	6418	4,28	4,00	0,28	3,74

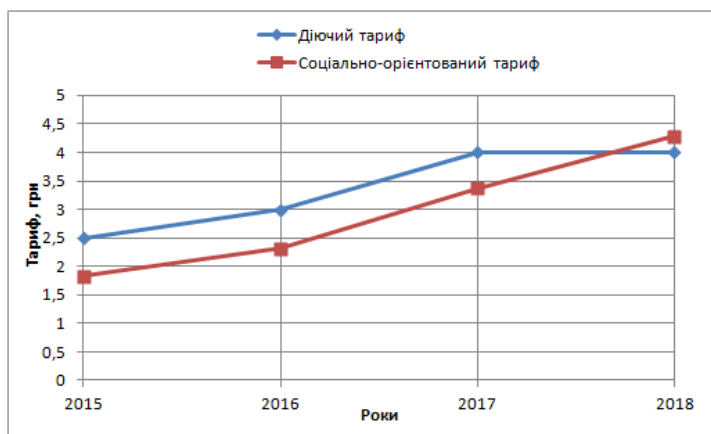


Рис. 2. Діаграма тарифів у м. Черкаси (2015 – 2018 рр.)

З табл. 1 та рис. 2 видно, що величина соціально орієнтованого тарифу, який показує максимальний рівень витрат населення на послуги проїзду, перевищення якого негативно відбивається на соціальному становищі населення, станом на 01.2018 р. становить 4,28 грн. при діючому тарифі в 4,00 грн., а до 01.2018 р. він взагалі щорічно завжди був меншим за діючий тариф. Якщо підняти тариф до 5,00 грн., то знову повернеться негативна тенденція, яку лише подолано.

Таким чином, у м. Черкаси рівень соціально орієнтованого тарифу на перевезення на 01.2018 р. дещо вищий, ніж встановлений місцевою владою. Однак потрібно пам'ятати, що частка заробітної плати, яка витрачається на проїзд в Україні, – одна з найвищих в Єв-

ропі (рис. 1), тобто відмова місцевої влади у підвищенні тарифу продиктована прагненням знизити частку з середніх по Україні 4 до 3,74 %, що є хоч і мінімальним, але все одно зменшенням.

Порівнюємо діючі тарифи в різних обласних центрах України (рис. 3, за [11]) із середнім доходом населення в цих містах станом на 01.2018 р. Основним критерієм порівняння вважатимемо не тариф T на перевезення, а частку транспортних витрат населення $P_{\text{с}}$. З формули (3) отримуємо:

$$P_{\text{с}} = \frac{K_n \cdot T}{D_{\text{ср}}} \quad (5)$$



Рис. 3. Тариф на проїзд у міському автобусі в обласних центрах України [11]

Таблиця 2

Порівняння доходу і тарифу на проїзд у міському автобусі в обласних центрах України

Місто	Середньо-місячний дохід $D_{\text{ср}}$, грн.	Соціально орієнтований тариф $T_{\text{со}}$, грн.	Діючий тариф T , грн.	Різниця тарифів, $T_{\text{со}} - T$, грн.	Частка транспортних витрат $P_{\text{с}}$, %
Миколаїв	7067	4,71	4	0,71	3,40
Ужгород	6799	4,53	4	0,53	3,53
Вінниця	6750	4,50	4	0,50	3,56
Івано-Франківськ	6665	4,44	4	0,44	3,60
Рівне	6458	4,31	4	0,31	3,72
Черкаси ¹	6418	4,28	4	0,28	3,74
Суми	6400	4,27	4	0,27	3,75
Луцьк	6306	4,20	4	0,20	3,81
Хмельницький	6275	4,18	4	0,18	3,82
Херсон	6063	4,04	4	0,04	3,96
Запоріжжя	7479	4,99	5	-0,01	4,01
Чернівці	5914	3,94	4	-0,06	4,06
Київ	11668	7,78	8	-0,22	4,11
Полтава	7136	4,76	5	-0,24	4,20

Продовження табл. 2

Місто	Середньо-місячний дохід $D_{ср}$, грн.	Соціально орієнтований тариф T_{co} , грн.	Діючий тариф T , грн.	Різниця тарифів, $T_{co} - T$, грн.	Частка транспортних витрат P_v , %
Полтава	7136	4,76	5	-0,24	4,20
Львів	6950	4,63	5	-0,37	4,32
Кропивницький	6221	4,15	4,5	-0,35	4,34
Чернігів	6098	4,07	4,5	-0,43	4,43
Дніпро	7839	5,23	6	-0,77	4,59
Житомир	6423	4,28	5	-0,72	4,67
Черкаси ²	6418	4,28	5	-0,72	4,67
Тернопіль	5865	3,91	5	-1,09	5,12
Харків	6680	4,45	6	-1,55	5,39
Одеса	7228	4,82	7	-2,18	5,81

¹ – тариф на проїзд 4,00 грн.² – тариф на проїзд 5,00 грн.

З табл. 2 видно, що частка транспортних витрат у різних містах України має широку межу коливань, яка залежить від співвідношення тарифу на проїзд і доходу населення. Найбільша частка транспортних витрат в Одесі (5,8 %), найменша – в Миколаєві (3,4 %), а, наприклад, Київ навіть з тарифом у 8 грн. завдяки найвищому серед міст України середньомісячному доходу займає місце посередині рейтингу.

Підняття тарифу в м. Черкаси з 4,00 до 5,00 грн. переведе місто з верхньої частини рейтингу в нижню, а головне – суттєво зросте частка транспортних витрат з нинішніх 3,74 до 4,67 % (див. табл. 2).

Крім того, як було вже сказано вище, наведені розрахунки не стосуються найбільш незахищених верств населення, а саме тих, що мають мінімальний дохід, який у м. Черкаси на 53,6 % менший за середній. Для них частка транспортних витрат при відсутності дешевшої тролейбусної мережі в місці проживання зросте з нинішніх 8,1 до 10 %. Навіть і проїзд на тролейбусі з тарифом у 2,00 грн. має частку транспортних витрат, що дорівнює 4 %.

Висновки. Станом на 03.2018 р. величина тарифу в м. Черкаси становить 4 грн., що, за розрахунками перевізників, нижче економічно обґрунтованого тарифу, тобто підприємства-перевізники працюють у збиток, що відбивається на якості транспортних послуг і безпеці перевезень.

Компромісне рішення про підняття тарифу до 5 грн. є можливим тільки після виконання основних вимог до всіх черкаських пе-

ревізників: встановлення на автобусах двосторонніх відеореєстраторів, систем автоматичної фіксації порушень, систем трекінгу і нагляду за дотриманням графіків перевізниками, дотримання графіків та відхилення від них в автоматичному режимі, оголошення зупинок в автоматичному режимі, а згодом і поступове оновлення парку рухомого складу автобусами з двигунами екологічного стандарту не нижче Євро-4.

Список літератури

1. Бычков В. П. Экономика автотранспортного предприятия. Москва: ИНФРА-М, 2008. 384 с.
2. Гудков В. А., Миротин Л. Б., Вельможин А. В., Ширяев С. А. Пассажи́рские автомобильные перевозки. Москва: Горячая линия – Телеком, 2004. 448 с.
3. Герасименко В. В. Ценообразование. Москва: ИНФРА-М, 2009. 422 с.
4. Туревский И. С. Автомобильные перевозки. Москва: ИД «Форум» ИНФРА-М, 2016. 222 с.
5. Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. 5-е изд., перераб. Москва: ИЦ «Академия», 2010. 400 с.
6. Никитина А. Н. Расчет оптимального уровня тарифа на пассажирские перевозки. *Инженерный вестник Дона*: электрон. науч. журн. 2012. № 4.
URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1112>

7. Волгин В. В. Автоперевозчик. Эксплуатационные нормативы. Москва: ООО «Издательство Астрель», 2004. 558 с.
8. <https://index.minfin.com.ua/labour/salary/average/Черкасская> (дата звернення 10.02.2018).
9. <http://abcnews.com.ua/ru/discuss/sravnieniie-tsien-na-proiezd-v-obshchiestviennom-transportie-v-kiievie-i-v-50-ievropieiskikh-ghorodakh-1> (дата звернення 28.03.2018).
10. *Автотранспорт: эксплуатация, обслуживание, ремонт*: науч.-практ. журн. / гл. ред. А. Н. Никитушкин. 2007. № 12. Тарифообразование на пассажирские перевозки.
11. https://dem-alliance.org/districts/ternopilsk-oblast/district_news
3. Gerasimenko, V. V. (2009). Pricing. Moscow: INFRA-M, 422 p. [in Russian].
4. Turevskiy, I. S. (2016) Motor transportation. Moscow: ID «Forum» INFRA-M, 222 p. [in Russian].
5. Spirin, I. V. (2010) Organization and management of passenger motor transport. Moscow: Akademiya, 400 p. [in Russian].
6. Nikitina, A. N. (2012) Calculation of the optimal level of the tariff for passenger transportation. *Inzhenernyi vestnik Dona: sci. e-journal*, No. 4. URL: <http://www.iv-don.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1112>
7. Volgin, V. V. (2004) Carrier. Operational standards. Moscow: Izdatelstvo Astrel, 558 p. [in Russian].
8. <https://index.minfin.com.ua/labour/salary/average/Черкасская>
9. <http://abcnews.com.ua/ru/discuss/sravnieniie-tsien-na-proiezd-v-obshchiestviennom-transportie-v-kiievie-i-v-50-ievropieiskikh-ghorodakh-1>
10. *Avtotransport: ekspluatatsiya, obsluzhyvaniye, remont* (2007) No. 12. Tariff formation for passenger transportation, pp. 41–45 [in Russian].
11. https://dem-alliance.org/districts/ternopilsk-oblast/district_news

References

1. Bychkov, V. P. (2008). Economy of a trucking enterprise. Moscow: INFRA-M, 384 p. [in Russian].
2. Gudkov, V. A., Mirotin, L. B., Velmozyn, A. V., Shyriaev, S. A. (2004) Passenger motor transportation. Moscow: Goriachaia liniya – Telekom, 448 p. [in Russian].

O. M. Pilipenko, *Dr.Tech.Sc., professor*,

O. V. Ogiy, *assistant*

e-mail: ogiy111@ukr.net

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

SUBSTANTIATION OF RATE FOR PASSENGER TRANSPORTATION BY BUS IN CHERKASY

The method of calculation of the minimum rate for passenger transportation taking into account the interests of transport companies and passengers is given. The calculation has been carried out using the method of economically substantiated costs, which is based on the determination of reasonable value of the price cost of one trip of a passenger, and also takes into account the profitability of the company engaged in passenger transportation. The calculation of a socially-oriented rate on the basis of effective public demand is presented.

Keywords: urban public transport; passenger transportation; transportation rate; fare; transportation effectiveness.

Б. В. Мисник, старший викладач,
e-mail: setne1985@gmail.com.

Т. І. Веретільник, к.т.н., професор,
e-mail: vertim@mail.ua

Л. Д. Мисник, к.т.н., доцент,
e-mail: l.mysnyk@chdtu.edu.ua

Черкаський державний технологічний університет
Бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МУЛЬТИАГЕНТНА ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПІДТРИМКА ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ КЕРІВНИКОМ ПІДПРИЄМСТВА ПОЛІГРАФІЧНОЇ ГАЛУЗІ

Розглянуто задачу аналізу та оптимізації функціонування підприємства галузі. Запропоновано як інструментарій моделювання та підтримки прийняття рішень використовувати мультиагентні технології. Визначено проблеми, які супроводжують процес моделювання, побудовано моделі з використанням продукційних правил та розроблено метод оптимізації на основі зміни множини задач, структури виробництва та стратегії управління підприємством.

Ключові слова: підприємство галузі, прийняття рішень, мультиагентні технології.

Постановка проблеми

Як відомо, галузь утворюють підприємства, що випускають однорідну продукцію. У більшості випадків вони є невеликими конкуруючими виробництвами або інфраструктурними об'єктами, наприклад, інтернет-магазинами, будівельними фірмами, підприємствами з виробництва меблів, вікон тощо. Процеси їх створення, функціонування, модернізації, розширення чи ліквідації вимагають аналітичної підтримки.

Аналіз останніх досліджень

Раніше, в роботах [1, 2], розглядалися аспекти моделювання діяльності таких підприємств та застосування з цією метою мультиагентних систем, наголошувалось на значній невизначеності таких процесів, що пов'язано із інкапсуляцією окремими суб'єктами галузі даних про характеристики виробництва та їх динаміку. Невідповідність між необхідністю одержання даних та небажанням надавати аналогічну інформацію становить проблему як для ринку взагалі, так і для конкретної особи, що приймає рішення (ОПР), зокрема.

Розглянемо проблему супроводу підприємств галузі по етапах їх життєвого циклу та використаємо для її рішення елементи теорії мультиагентних систем (МАС). Джерело теорії МАС можливо відслідкувати в книзі

[3], виданій за матеріалами однієї з конференцій в Празі у 2001 році. Головними питаннями, що обговорювалося на конференції, були: перспективи організації МАС, мультиагентна інфраструктура, логічні засади МАС, стандартизація комунікації в МАС, прийняття рішень в МАС, команди гетерогенних агентів. Очевидно, що на конференції розглядалися теоретичні задачі розвитку МАС, розробки відповідних моделей та методів. Зміни, що відбулися з того часу, відображені в матеріалах конференції 2013 року в Іспанії. Тут головними статтями технології використання МАС для рішення практичних задач, зокрема використання МАС в Grid, в віртуальних організаціях, при представленні транспортних сервісів, для складання логічного розкладу, для розробки рекомендаційних систем, в енергетиці, в медицині та ін. Динаміка МАС: від теорії до практики свідчить про актуальність використання такого виду систем та про раціональність їх розробки та використання.

На користь останнього припущення свідчать і роботи вітчизняних вчених. Наприклад, дослідженні можливості побудови логічних інформаційних систем на підприємствах, що здатні забезпечити організаційно-економічну стійкість підприємств в ринкових умовах з використанням економіко-

математичного моделювання і інформаційних технологій, результатом чого є розроблені МАС [3]. Створювалися МАС і для рішення задач моделювання розвитку міської інфраструктури з ціллю отримання загальної картини шляхом об'єднання окремих задач, що вирішуються в межах окремих агентів. Розроблена технологія сумісного використання мультиагентного імітаційного моделювання і експертних оцінок для прогнозування еволюційного розвитку міста [4]. Пропонувалися технології розробки МАС від визначення вимог до реалізації з використанням трансформаційних процесів інтелектуальних агентів, що дозволяло генерувати нечіткі платформо-незалежні моделі внутрішнього управління агентами [5]. Розглядалися інформаційні моделі управління процесом [6] навчання з використанням мультиагентного підходу в умовах адаптивного навчання, що створює засади повної автоматизації управління процесом навчання [7,8]. Ми проаналізували тільки малу частину галузей і методів, де доведені переваги використання МАС. Ще однією задачею, де є потреба у використанні принципів створення і функціонування МАС, є прийняття рішень на підприємствах галузі.

Метою дослідження є визначення основних функцій, можливостей та проблем функціонування мультиагентних систем підтримки прийняття рішень керівником підприємства галузі.

Постановка задачі

Керівник кожного підприємства в процесі його функціонування неминує стикається з необхідністю прийняття рішень про модернізацію, ліквідацію, зміну спектру вирішуваних завдань, структури виробництва, стратегії управління, в більшості випадків полягає в розподілі ресурсів. Різні передумови, масштаби прийнятих рішень та їх наслідки притаманні підприємствам-монополістам і підприємствам галузі, випускаючим однорідну продукцію. Якщо монополіст орієнтується на зовнішню кон'юнктуру, особливості законодавства, постачальників та споживачів як деякі абстрактні сукупності великої потужності, то керівник підприємства галузі орієнтується на мікроекономічні параметри, особливості

функціонування підприємств, що, в деяких випадках, знаходяться у відношеннях кооперації, але частіше виявляються конкурентами. В ідеальному випадку ОПР-керівник підприємства оптимізує його діяльність, враховуючи середню ціну продукції на ринку і в кожного підприємства-конкурента зокрема, а також інші показники ефективності (собівартість, фондоозброєність та ін.). Обмежуючим фактором є ємність ринку, а направляючим фактором – закон рівності попиту та пропозиції.

Враховуючи, що функціонування підприємства (виготовлення продукції) можна вважати процесом неперервним, а транзакції (продаж продукції, закупка матеріалів, отримання інвестицій та ін.) відбуваються в дискретні проміжки часу, його діяльність можливо представити деяким неперервно-дискретним або логіко-динамічним процесом.

Особа, що приймає рішення, на підставі знань, досвіду та інтуїції, визначає стратегію і тактику розвитку підприємства, але в більшості випадків його діяльність є оперативною реакцією на поточний стан навколишнього середовища та значень параметрів підприємства [9]. Критичність впливу фактору часу призводить до невірних або стратегічно провальних рішень. Їх негативні наслідки можливо було б виключити використовуючи прогнозування і аналіз можливих сценаріїв розвитку подій. Відповідним інструментарієм можуть бути МАС. Агентом, в даному випадку, є деяка сутність, що призначена для автономного прийняття рішень, а також для підтримки прийняття рішень ОПР (рис. 1). Кожен агент має внутрішню структуру (міжмодульні зв'язки), елементний базис (програмні модулі для рішення окремих задач), використовує дані (як внутрішні для підприємства, так і з загальної бази даних), виконує заключення (на основі продукційних правил як приватних для підприємства, так і з загальної бази даних). Зауважимо, що метою функціонування агента є отримання максимального прибутку як рішення однієї з задач різними методами, так і висування рекомендацій щодо модифікації функціонування підприємства. Виконаємо формалізацію задачі оптимізації діяльності підприємства галузі.

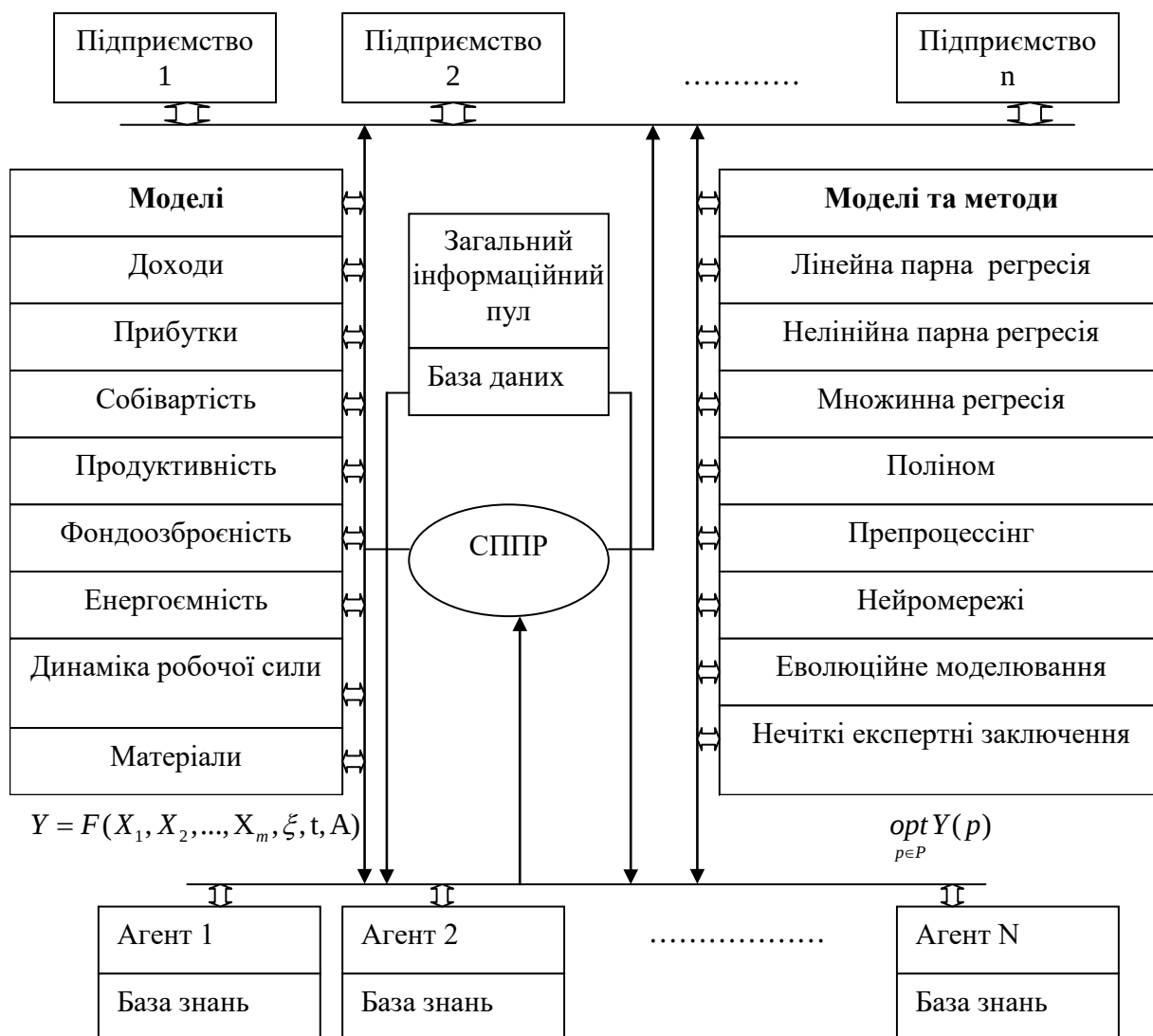


Рис. 1. Структура системи підтримки прийняття рішень з використанням мультиагентних систем

Нехай $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ – множина підприємств галузі, $n \geq 2$. Будемо вважати, що функціонування підприємства S_i визначається трійкою елементів

$$S_i = \langle X_i, Y_i, Z_i, t \rangle, \quad (1)$$

де X_i – вхідні фактори системи, Z_i – параметри внутрішнього стану, Y_i – вихідні характеристики системи S_i , t – час. Стан системи S_i в момент часу t визначається значеннями її показників, тобто

$$S_i = \langle x_{it}^1, x_{it}^2, \dots, x_{it}^{n_x}, z_{it}^1, z_{it}^2, \dots, z_{it}^{n_z}, y_{it}^1, y_{it}^2, \dots, y_{it}^{n_y} \rangle \quad (2)$$

де x_{it}^j – значення j -го вхідного фактору в момент часу t (ціна обладнання, доставлено-го на підприємство), $j = \overline{1, n_x}$; z_{it}^j – значення j -го внутрішнього параметру (собівартість

одиниці продукції), $j = \overline{1, n_z}$; y_{it}^j – значення j -ї вихідної характеристики (дохід від продажу одиниці продукції), $j = \overline{1, n_y}$. Будемо вважати будь-які зміни будь-якого значення з (2) транзакціями. Моменти часу, коли відбуваються транзакції, дискретизують часовий

інтервал функціонування підприємства $T = \{t_0 < t_1 < t_2 < \dots\}$.

Вихідні характеристики підприємства або їх комбінації здійснюють вплив на функціонування підприємства і ефективність її реалізації оцінюється показником ефективності P_i^k , тобто

$$P_i^k = P_i^k(S_i) = P_i^k(Y_i) = P_i^k(y_{it}^1, y_{it}^2, \dots, y_{it}^{n_y}), \quad (3)$$

де $k = \overline{1, l}$, l – кількість показників ефективності. Тоді інтегральний показник – інтегра-

льний критерій ефективності підприємства представимо так

$$E_i = E_i(P_i^1, P_i^2, \dots, P_i^l) = E_i(P_i^1(Y_i), P_i^2(Y_i), \dots, P_i^l(Y_i)). \quad (4)$$

В свою чергу, $Y_i = F_i(X_i, Z_i)$, тому

$$E_i = E_i(P_i^1(F_i(X_i, Z_i)), P_i^2(F_i(X_i, Z_i)), \dots, P_i^l(F_i(X_i, Z_i))). \quad (5)$$

Враховуючи те, що ринок продукції, що виробляється підприємством галузі має обмежену ємність, максимальний прибуток $E_{\max}$ могло б отримати єдине підприємство на ринку за відсутності конкуренції, наявності достатньої ресурсної та кадрової бази. Оскільки раніше така ситуація виключена ($n \geq 2$), тоді для кожного підприємства вирішується задача $E_i \rightarrow E_{i\max} \quad \forall t \in T$, де T – інтервал часу функціонування підприємства.

Особливості ідентифікації показників ефективності підприємства

Звужимо нашу задачу і припустимо, що необхідно не проводити моделювання функціонування всіх підприємств галузі і ринку їх продукції, а діяти в інтересах одного підприємства S_* і отримати рішення, що максимізує його ефективність і ініціює його структурну перебудову. ОПП буде враховувати ретроспе-

ктивну інформацію, поточні стан та дії, прогнозуючи майбутнє.

Як зазначено на рис. 1, основою для прийняття рішень є процес моделювання. Першочергово необхідно отримати моделі $P_i^k, k = \overline{1, l}$. Їх побудова починається з специфікації або структурної ідентифікації з використанням банку моделей (лінійної та нелінійної парної регресії, лінійної та нелінійної множинної регресії, поліномів Колмогорова-Габора, нейромереж, деревовидних структур та ін.). Параметрична ідентифікація таких моделей здійснюється з використанням відомих методів (найменших квадратів, групового врахування аргументів (МГВА), Бранлона, back propagation, генетичного програмування та ін.).

Рішення задач структурної і параметричної ідентифікації відбувається на основі інформації з баз даних, яка зберігається і записується в форматі

$$DB_1 = \langle t_i, S_j \rangle, \quad (6)$$

де t_i – час транзакції, S_j – значення параметрів j -го підприємства, що здійснювало транзакцію, у вигляді (2). Для скорочення кількості майбутніх розрахунків бази даних ставиться у відповідність база даних DB_2 , виконуючи правило

Якщо $DB_1 \quad q_{jt-1}^l = q_{jt}^l$, то в $DB_2 \quad q_{jt}^l = "$, де q_{jt}^l – значення параметра j -ї системи в момент часу $t, l = \overline{1, n_x + n_z + n_y}, j = \overline{1, n}$.

Ідентифікація моделей буде здійснюватися на основі ретроспективної інформа-

ції, їх якість перевіряється з використанням поточних даних. Отримання адекватних моделей є необхідною умовою прогнозу-

вання майбутніх процесів. Формально отримаємо банк моделей для одного показника ефективності.

$$P_i \rightarrow MB_i = \langle H_i^1, H_i^2, \dots, H_i^w \rangle = MB_i(t_0, t_1, \dots, t_{v-1}), \quad (7)$$

де t_{v-1} – час попередньої транзакції.

Серед моделей H_i^j обираємо найкращу за критерієм

$$\min_j |H_i^j(t_v) - P_i(t_v)|, \quad (8)$$

де $H_i^j(t_v)$ – значення показника, розраховане з використанням j -ї моделі для часу останньої транзакції, $P_i(t_v)$ – відоме значення показника ефективності. Процес отримання моде-

лей (7) може бути модифікований за рахунок врахування транзакції до моментів часу t_{v-2}, t_{v-3} та ін., в свою чергу, (8) запишеться в такому вигляді:

$$\min_j \sum_{l=0}^{r-1} |H_i^j(t_{v-l}) - P_i(t_{v-l})|, \quad (9)$$

де r – потужність множини транзакцій для визначення найкращої моделі.

Існує ще одна проблема, пов'язана з обробкою бази даних. Оскільки кількість змінних в (2) досить велика, для рішення наступних задач існує необхідність їх скорочення без суттєвого зменшення інформативності. Одна з таких задач полягає в пошуку характеристик діяльності підприємства або декількох підприємств, значення яких найбільш суттєво впливають на деяку характеристику підприємства, що розглядається. На початковому етапі припустимо, що такий вплив можливо представити лінійною функцією і характеризувати коефіцієнтом кореляції. Задача формується таким чином. Для кожного k -го показника ефективності i -го підприємства знайти r_{ij}^{kl} – коефіцієнт кореляції з l -м показником ефективності j -ї системи, виконати аналіз отриманих результатів шляхом визначення порогового значення r_{th} і обробка показників ефективності, для яких $|r_{ij}^{kl}| > r_{th}$, які і будемо вважати інформативними.

Для розрахунку коефіцієнтів кореляції використовуємо елементи технології OLAP. Оскільки DB_2 містить дані про транзакції всіх підприємств, то необхідно сформулювати

нову таблицю DB_3 , Перший стовпчик якої буде містити дані про моменти часу, піч час яких відбуваються зміни показника ефективності P_i^k , другий стовпчик – значення P_i^k , в третьому стовпчику – значення P_1^1 в момент часу, попередній часу в стовпчику 1, далі аналогічно і в останньому стовпчику будуть міститись значення останнього показника ефективності останнього підприємства в момент часу, попередній часу зміни P_i^k . Розрахунок коефіцієнтів кореляції для даних з таблиці DB_3 дозволить виділити характеристики, що здійснюють найбільший вплив на значення P_i^k . Зазначимо, що тут в якості часового лага впливу зазначена одиниця. В залежності від специфіки виробництва лаг може бути більшим одиниці, що значно збільшує розмірність матриці для пошуку коефіцієнтів парної кореляції.

Значення показника ефективності P_i^k в переважній більшості випадків залежить від його значень в попередні моменти часу. Задача визначення такого часового лага є супутньою, аналогічною попередній. Її рішення дозволить доповнити множину незалежних факторів моделі. Сама модель має вигляд:

$$P_i^k(t_v) = G(P_i^k(t_v), P_i^k(t_{v-1}), \dots, P_i^k(t_{v-l}), M(t_{v-1}), t_v), \quad (10)$$

де l – часовий лаг обліку попередніх значень показника ефективності P_i^k , $M(t_{v-1})$ – значення множини інформаційних показників ефективності інших систем.

Моделі прийняття рішень і оптимізація показників підприємства

Рішення задач (8) – (10) створює базис для процесів прийняття рішень. Оскільки відомі ретроспективна інформація, поточний стан підприємства, закони його функціонування і прогноз значень показників ефективності при незмінних умовах і значеннях вход-

них факторів, то рішення можуть прийматися виходячи з відомих, заздалегідь сформульованих правил. В той же час, для отримання найкращих або прийнятних значень на множині можливих задач, структур виготовлення або стратегій управління, необхідно вирішити оптимізаційні задачі.

Як показано на рис. 1, кожний агент має свою базу знань, основну частину якої складають продукційні правила. В загальному випадку правила мають такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 & \text{Якщо } [P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{11} \& P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{11} \& P_1^1(t_{\sigma}) \in D_{1\sigma}^{11} \& \dots P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{l1} \& P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{l1} \& P_1^l(t_{\sigma}) \in D_{1\sigma}^{l1}, \\
 i \quad & P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{11} \& P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{11} \& P_2^1(t_{\sigma}) \in D_{2\sigma}^{11} \& \dots P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{l1} \& P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{l1} \& P_2^l(t_{\sigma}) \in D_{2\sigma}^{l1}, \\
 & \dots\dots\dots \\
 i \quad & P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{11} \& P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{11} \& P_n^1(t_{\sigma}) \in D_{n\sigma}^{11} \& \dots P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{l1} \& P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{l1} \& P_n^l(t_{\sigma}) \in D_{n\sigma}^{l1}], \\
 & \text{то } \{p \& c \& s\}_1; \\
 & \text{якщо } [P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{12} \& P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{12} \& P_1^1(t_{\sigma}) \in D_{1\sigma}^{12} \& \dots P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{l2} \& P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{l2} \& P_1^l(t_{\sigma}) \in D_{1\sigma}^{l2}, \\
 i \quad & P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{12} \& P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{12} \& P_2^1(t_{\sigma}) \in D_{2\sigma}^{12} \& \dots P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{l2} \& P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{l2} \& P_2^l(t_{\sigma}) \in D_{2\sigma}^{l2}, \\
 & \dots\dots\dots \\
 i \quad & P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{12} \& P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{12} \& P_n^1(t_{\sigma}) \in D_{n\sigma}^{12} \& \dots P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{l2} \& P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{l2} \& P_n^l(t_{\sigma}) \in D_{n\sigma}^{l2}], \\
 & \text{то } \{p \& c \& s\}_2; \\
 & \dots\dots\dots \\
 & \text{якщо } [P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{1b} \& P_1^1(t_n) \in D_{1n}^{1b} \& P_1^1(t_{\sigma}) \in D_{1\sigma}^{1b} \& \dots P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{lb} \& P_1^l(t_n) \in D_{1n}^{lb} \& P_1^l(t_{\sigma}) \in D_{1\sigma}^{lb}, \\
 i \quad & P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{1b} \& P_2^1(t_n) \in D_{2n}^{1b} \& P_2^1(t_{\sigma}) \in D_{2\sigma}^{1b} \& \dots P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{lb} \& P_2^l(t_n) \in D_{2n}^{lb} \& P_2^l(t_{\sigma}) \in D_{2\sigma}^{lb}, \\
 & \dots\dots\dots \\
 i \quad & P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{1b} \& P_n^1(t_n) \in D_{nn}^{1b} \& P_n^1(t_{\sigma}) \in D_{n\sigma}^{1b} \& \dots P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{lb} \& P_n^l(t_n) \in D_{nn}^{lb} \& P_n^l(t_{\sigma}) \in D_{n\sigma}^{lb}], \\
 & \text{то } \{p \& c \& s\}_b, \\
 & \text{або в наступній формі} \\
 & \bigvee_{i=1}^b \& \bigwedge_{j=1}^n [P_j^k(t_n) \in D_{jn}^{ki} \& P_j^k(t_n) \in D_{jn}^{ki} \& P_j^k(t_{\sigma}) \in D_{j\sigma}^{ki}], \quad (11)
 \end{aligned}$$

де b – кількість можливих змін множини задач, структур і стратегій управління, n – кількість підприємств галузі, t_n – час минулої транзакції, t_n – теперішній час (час щойно виконаної транзакції), t_{σ} – час наступної транзакції, $P_i^k(t_n)$ – значення k -го показника i -го підприємства в минулому, $P_i^k(t_n)$ – поточне значення, $P_i^k(t_{\sigma})$ – прогнозоване значення, D_{jn}^{ki} , D_{jn}^{ki} , $D_{j\sigma}^{ki}$ – значення, або інтервали значень, або нечіткі множини з відповідними функціями належності для j -го варіанта k -го

показника ефективності i -го підприємства в минулому, поточному і майбутньому.

Моделі (11) дозволяють модифікувати множини задач або структуру, або стратегію управління підприємством, виходячи з наперед жорстко зазначених правил.

В той же час, ОПР цікавить рішення задачі визначення оптимальних показників виробництва, коли відомі прогнозовані значення показників ефективності при змінних зовнішніх та інших умовах. В якості вихідних даних тут виступають ідентифіковані моделі (10).

Необхідно виконати їх оптимізацію та знайти значення вхідних факторів, внутрішніх параметрів, що відповідають оптимальним значенням показників ефективності. Оскільки функції (10) можуть бути поліекстремальними, недиференційованими, заданими алгоритмічно або представленими нейромережею, тоді для отримання їх оптимуму раціонально використовувати еволюційні технології, а, враховуючи розмірність задачі, застосувати метод EvoMax [10], основою якого є еволюційна стратегія з керованим процесом випадкового пошуку кращих рішень. Такі рішення дозволяють змінювати поточні параметри діяльності підприємства і оптимізувати його показник ефективності.

Висновки

Використання MAC для аналізу і оптимізації діяльності підприємства галузі є новим підходом, в основу якого покладено дуалізм взаємодії таких підприємств і функціонування агентів системи. Подібно природній еволюції і еволюційним методам оптимізації розглянутий дуалізм визначає синергетичний ефект від моделювання MAC як програмно-аналітичної платформи рішення прикладних задач. Якість результатів, значною мірою, визначається вмінням системного аналітика, його знанням процесів функціонування економічних систем і побудову математичних моделей економічних процесів. Також необхідно вирішувати задачу мультикритеріальної оптимізації показників ефективності підприємства і визначення інтегрального критерія ефективності.

Список літератури

1. Снитюк В. Е. Мультиагентные технологии анализа и оптимизации функционирования предприятий отрасли. *Математичні машини і системи*. 2015. № 2. С. 139–146.
2. Voloshyn O. Intellectual information support of branch enterprise executives' decision making processes. *Information Theories and Applications: International Journal*. 2014. Vol. 21, Number 4. P. 303–313.
3. Luck M. *Multi-Agent Systems and Applications*. Springer-Verlag: Berlin, 2001. 452 p.
4. Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems.

Proceedings of International Workshops of PAAMS 2013, Salamanca, Spain, May 22–24, 2013.

5. Гужва В. М. Моделювання мультиагентних систем для управління логістичними процесами на підприємствах: автореф. дис... канд. екон. наук: 08.03.02. К., 2002. 17 с.
6. Крицкий А. В. Информационная система поддержки принятия решений на основе мультиагентного подхода: дисс... канд. техн. наук : 05.13.01. Екатеринбург, 2007. 150 с.
7. Єршов С. В. Теоретичні основи моделювання побудови нечітких інтелектуальних мультиагентних систем: автореф. дис. докт. фіз.-мат. наук 01.05.03. К., 2013. 36 с.
8. Нарожний О. В. Моделі інтелектуального управління процесом навчання за допомогою мультиагентних систем: автореф. дис... канд. техн. наук. 05.13.23. Одеса, 2007. 19 с.
9. Скворцов І. Б., Гудзь О. І., Швед Л. Р. Планування обсягів виробництва продукції на промисловому підприємстві з урахуванням її життєвого циклу. *Науковий вісник НГУ*. №6. Дніпро, 2013. С. 132–137.
10. Снитюк В. Є. Спрямована оптимізація і особливості еволюційної генерації потенційних розв'язків. *Матеріали Міжн. школи-семінару «Теорія прийняття рішень»*: Ужгород (1-6 жовтня 2012). С. 182–183.

References

1. Snutyk, V. E. (2015) Multiagent Analysis and Optimization of Enterprise' Activity Processing. *Mathematical Electronik and Systems*. №2, p. 139–146.
2. Voloshyn, O. (2014) Intellectual Information Support of Branch Enterprise Executives' Decision Making Processes. *International Journal "Information Theories and Applications"*. Vol. 21, Number 4, pp. 303–313.
3. Luck, M. (2001) *Multi-Agent Systems and Applications*. Springer-Verlag: Berlin, 452 p.
4. Proceedings of International Workshops of PAAMS 2013 (2013) Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems. Salamanca, Spain. May 22–24.

5. Huzhva, V. M. (2002) Multiagent Systems' Modeling for Enterprise' Logistic Process Management: abstr. Dissertation MSc: 08.03.02. Kyiv, pp. 17.
6. Krytzky, A. V. (2007) Informational Expert Support System based on multiagent Approach: Dissertation MSc: 05.13.01. Ekaterinburg, 150 p.
7. Yershov, S. V. (2013) Theoretical building basis of the modeloriented obscure intellectual multiagent systems. Dissertation. MSc 01.05.03. Kyiv, 36 p.
8. Narozhny, O. V. (2007) Schoolling Process Intellectual Management Models based on Multiagent System: abstr. Dissertation MSc. 05.13.23. Odessa, 19 p.
9. Skvorzov, I. B., Hudz, O. I., Shved, L. R. (2013) Industry output planning considering its cycle. Science Bulletin NSU №6, Dnipro, pp. 132–137.
10. Snutyk, V. E. (2012) Directed Optimization and Peculiarities of Potential Resolve. Abstr. International school-lecture «Make Decision Theory»: Uzhhorod (1-6 October 2012), pp. 182–183.

B. V. Mysnyk, senior lecturer,
e-mail: setne1985@gmail.com.

T. I. Veretil'nyk, Ph.D., associate professor,
e-mail: vertim@mail.ua

L. D. Mysnyk, Ph.D., associate professor,
e-mail: l.mysnyk@chdtu.edu.ua

Cherkasy state technological university
Bul. Shevchenko, 460, Cherkasy, 18006, Ukrainian

MULTI-AGENT FUNCTIONING OPTIMIZATION AND DECISION MAKING ASSISTANCE FOR PRINTING TRADES AREA HEAD

The problem of analyzing and optimizing the sector enterprise functioning is considered. Proposed as modeling tools and decision support systems use multi-agent technology. Identify the problems that accompany the modeling process, models with production rules and developed a method of optimization based on changes in a variety of tasks, production, and enterprise management strategies.

Keywords: sector enterprise, decision making, multi-agent technologies.

М. В. Голуб, асистент,

e-mail: g.nikolay@ukr.net

С. М. Мацєпа, асистент,

e-mail: s_matsepa@ukr.net

Г. В. Канашевич, д.т.н., професор,

e-mail: kgv-elbeam@rambler.ru

О. С. Алексєєва, к.т.н., доцент,

e-mail: Elena_alekseeva@ukr.net

Є. В. Хижняк, к.т.н., ст. викладач,

e-mail: ehizh1@yahoo.com

П. П. Дмитренко, асистент,

e-mail: mndlfm@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МЕТАЛІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО СКЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО МЕТОДУ МІКРООБРОБКИ ПОВЕРХНІ

Представлені дані з електронно-променевої обробки для покращення адгезійної міцності металевих плівок. В основі лежить спрямована зміна фізико-хімічних властивостей приповерхневого шару скла шляхом обробки стрічковим електронним потоком з енергією електронів $E \leq 8$ кеВ. Результати можуть бути використані в прецизійних технологіях мікрооптики та інтегральної оптики.

Ключові слова: електронний потік, електронно-променева обробка, електронно-променева мікрообробка, приповерхневий шар скла, силікатне скло.

Актуальність. Якість металевої плівки, нанесеної у вакуумі на скло та міцність її зчеплення визначаються способом підготовки поверхні та станом приповерхневого шару (ПШ) скла [1–4]. Пластини з технічного силікатного скла, поверхня яких оброблялася різними методами шліфування та полірування (механічним, хіміко-механічним, полум'яним) мають різні нанорельєф і структуру ПШ, що впливає на якість зчеплення металевої плівки з поверхнею [5–7, 9].

Нами запропоновано новий підхід щодо покращення адгезійних властивостей поверхні технічного скла при його металізації. В основу покладено метод обробки поверхні скла низькоенергетичним електронним потоком (енергія електронів $E \leq 8$ кеВ), що приводить до спрямованої зміни фізико-хімічного стану поверхні і ПШ матеріалу.

Мета роботи. Підвищення адгезійної міцності металевої плівки до поверхні скла з використанням методу електронно-променевої мікрообробки.

Обладнання і інструмент мікрообробки. Вакуумна лабораторна установка, яка виготовлена на базі установки УВН 71П-3 і забезпечує нанесення тонких плівок на матеріали. В установці розміщено електронно-променеву гармату Пірса, механізм переміщення об'єктів

обробки. Механізм переміщення забезпечує рух електронного потоку в камері установки зі швидкістю $V_{\text{пот.}} = 0 \dots 20$ см/с, залишковий тиск у вакуумній камері складає 10^{-4} Па. Електронно-променева гармата випромінює стрічковий електронний потік довжиною $l = 60$ мм, шириною $b = 1.5 \dots 4,0$ мм і питомою потужністю $10^1 \text{ Вт/см}^2 \leq P_{\text{плт}} \leq 10^3 \text{ Вт/см}^2$.

Об'єкти обробки. Прямокутні пластини технічного скла з розмірами: 20×20 мм, товщиною 1 мм, які отримані механічним розділенням фотопластини (ГОСТ 10691.1-84).

Отримані результати та їх обговорення. Стрічковий електронний потік довжиною l і шириною b проходить по поверхні фотопластини, змінюючи при цьому температуру поверхні і ПШ.

Просторово-часова структура стрічки відповідає гаусовому розподіленню (максимальною енергією володіють електрони на вісі стрічки, мінімальною ті, які формують край стрічки).

Розподілення щільності потоку:

$$F_n = F(x, y, z, t),$$

де x, y, z , – просторові координати, t – час.

Якщо нам потрібно досягти лише поверхневого термічного впливу (глибиною до 10 мкм), ми розглядаємо поверхневе джерело теплоти, яке рухається за координатами x, y .

Якщо нам потрібно проплавити ПШ на глибину до 200 мкм, то ми реалізуємо об'ємне джерело теплоти, змінюючи температуру у матеріалі за координатою z .

Розрахунок температур у ПШ проводимо на основі побудованої математичної моде-

лі рухомого джерела теплоти гаусового типу (з врахуванням коефіцієнта зосередженості) для напівобмеженого тіла.

В основу покладено рівняння теплопровідності для напівобмеженого тіла з такими початковими та граничними умовами:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right);$$

$$-\infty < x < +\infty; -\infty < y < +\infty; 0 \leq z < +\infty; T(x, y, z, 0) = T_0;$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = F_n(x_0 - V_{\text{пот}} \cdot t, y, 0, t) - L_n(x, y, 0, t, T_{z=0});$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_1} = \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_0} = \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=y_1} = \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=y_0} = \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = 0,$$

де $F_n(x - V_{\text{пот}} \cdot t, y, 0, t)$ – функція розподілу інтенсивності електронного потоку на поверхні матеріалу за координатами x, y, z та часом t ; $L_n(x, y, 0, t, T_{z=0})$ – розподіл потоку, обумовленого леткістю матеріалу з поверхні розплаву у вакуум за координатами x, y, z та

часом t ; $T(K)$ – температура в матеріалі; T_0 – температура попереднього нагріву матеріалу; a – коефіцієнт температуропровідності матеріалу; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

З врахуванням явища леткості матеріалу скла використовуємо розв'язок рівняння [9]:

$$T(z, t) = T_0 + \frac{a}{\lambda \sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{F_{n1}(\tau) - L_n(0, \tau, T_{z=0})}{\sqrt{t - \tau}} e^{-\frac{z^2}{4a^2(t-\tau)}} d\tau,$$

де $L_n(0, \tau, T_{z=0}) = 15 \cdot L \cdot 10^{\frac{P_1 - P_2}{T_{z=0}(\tau - \delta)}}$ – розподіл теплового потоку з поверхні матеріалу у вакуум, обумовлений леткістю розплаву. Рівень термічного впливу електронного потоку на матеріал (нагрів, проплавлення, випаровування) визначається, з одного боку, теплофізичними властивостями матеріалу, з іншого

боку повною потужністю електронного потоку, його питомою потужністю та часом його дії на матеріал, рис. 1, рис. 2.

На рис. 2 представлені залежності глибини проплавлення $h_{\text{пр}}$ пластини електронно-променевою стрічкою від питомої потужності стрічки $P_{\text{пит}}$.



Рис. 1. Змодельований розподіл температурних полів в фотопластині за координатами x, y, z , в залежності від режимів обробки рухомих стрічковим електронним потоком:

$$P_{\text{пит}} = 10 \cdot 10^3 \text{ Вт/см}^2; V_{\text{пот}} = 10 \text{ см/с}$$

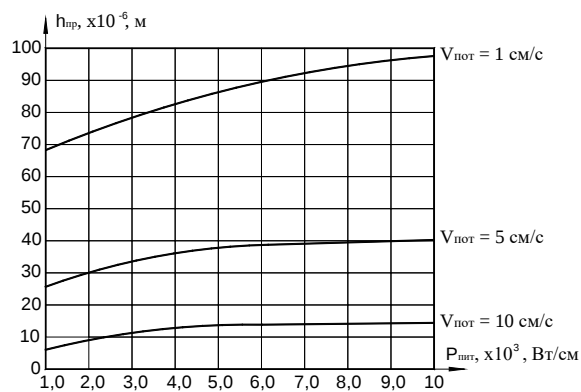


Рис. 2. Розрахункові залежності глибини проплавлення $h_{пр}$ ПШ для фотопластини від питомої потужності електронного потоку $P_{пит}$.

Характерною є різниця у конденсації водяної пари на обробленій електронним потоком та необробленій поверхні скла. Таку відмінність можна спостерігати на поверхні фотопластини за плямами дихання після маскування цієї поверхні з'ємною металевою маскою (наприклад, смужка з фольги Ni) та обробки електронним потоком, рис. 3.

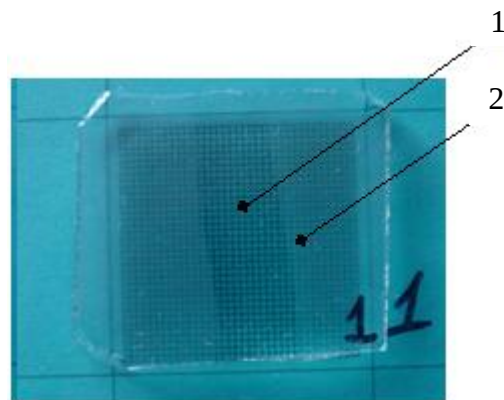


Рис. 3. Поверхня фотопластини, яка оброблена електронним потоком через маску та змочена парою води

Експериментально отримані результати з металізації поверхні фотопластин алюмінієм і електронно-променевої мікрообробки наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики поверхні фотопластини за методом [10] та методом електронно-променевої мікрообробки

Підготовка поверхні пластины до металізації	Брак за зовнішнім виглядом, %	Міцність зчеплення металевої плівки Al з поверхнею пластины, кг/см ²
Травлення в розчині, г/л, за відомим способом [10]		
Сульфат заліза 60, Сірчана кислота 75	8 6	25,0 26,5
Сульфат заліза 70, Сірчана кислота 80	4 4	26,6 26,8
Сульфат заліза 80, Сірчана кислота 90	6 6	26,6 26,6
Електронно-променева мікрообробка		
Питома потужність: $P_{пит} = 10^1$ Вт/см ² , Швидкість обробки: $V = 1$ см/с	3	27,3
Питома потужність: $P_{пит} = 2 \cdot 10^1$ Вт/см ² , Швидкість обробки: $V = 2,5$ см/с	2	27,1
Потужність потоку: $P_{пит} = 10^2$ Вт/см ² , Швидкість обробки: $V = 2,5$ см/с	2	27,4
Потужність потоку: $P_{пит} = 10^2$ Вт/см ² , Швидкість обробки: $V = 1,5$ см/с	1	27,1
Потужність потоку: $P_{пит} = 0,5 \cdot 10^2$ Вт/см ² , Швидкість обробки: $V = 5$ см/с	1,5	27,2

При такій обробці фотопластин:
1) питома потужність $P_{пит} = 10^1 - 0,5 \cdot 10^2$ Вт/см² і швидкістю 0,1...5 см/с забезпечує вплив елек-

тронного потоку лише на ПШ з речовинами, якими він заповнений; 2) хімічні елементи і сполуки, якими заповнений ПШ силікатного

скла: H^+ , H_2O , H_3O^+ , SiOH , Na , K , Na^+ , K^+ , NaOH , KOH , Si-O , $(\text{Si-O-Si})_m$ тощо) дисоціюють на слабо зв'язані хімічні елементи та сполуки: H_2 , N^+ , O_2 , C , CO_2 , N_2 , H_2O та інші і десорбують у вакуум, а структура ПШ перебудовується.

Висновки:

1. Поверхня фотопластин і їх ПШ після електронно-променевої мікрообробки змінює свої властивості, що забезпечує покращення зчеплення металевої плівки Al , нанесеної у вакуумі.

2. Низькоенергетичний електронний потік з енергією $E \leq 8$ кеВ може використовуватися в якості інструменту для спрямованої зміни нанорельєфу поверхні та фізико-хімічного стану приповерхневого шару скла після будь-якого його шліфування і полірування.

3. Зміна фізико-хімічного стану приповерхневого шару технічного силікатного скла з використанням електронно-променевого методу його мікрообробки може вигідно використовуватися в прецизійних технологіях мікрообробки технічного скла.

Список літератури

1. Буркат Т. М., Добычин Д. П., Пальтиель Л. Р. Кинетика и механизм сорбции воды на оптической поверхности кварцевого стекла. *Докл. АН СССР*. 1990. Т. 310. № 2. С. 376–379.
2. Пальтиель Л. Р. Структура и адсорбционные свойства поверхности кремнесодержащих оптических материалов и их модифицирующих покрытий: автореф. дис... канд. химич. наук: Ленинград, 1990. 19 с.
3. Глебов Л. Б., Ильин В. Г., Моисеев В. В. Научные основы ионнообменного синтеза элементов градиентной оптики. Стеклообразное состояние. *Труды XIII Всесоюзного совещания*. Ленинград, 1986. С. 125–139.
4. Глебов Л. Б., Докучаев В. Г., Евстропьев Г. Т. Влияние структурных микронапряжений на формирование показателя преломления стекол при низкотемпературном ионном обмене. *Физика и химия стекла*. 1988. Т. 14. № 1. С. 79–86.
5. Топорец А. С. Оптика шероховатой поверхности. Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1988. 191 с.
6. Богданов А. П., Бунин И. Г. Доводка формы оптической поверхности ионным пучком малого сечения, управляемым програ-

мированным перемещением. *ОМП*. 1988, №2. С. 39–42.

7. Стогний А. И., Новицкий Н. Н., Стукалов О. М. Ионно-лучевое полирование наноразмерного рельефа поверхности оптических материалов. *Письма в ЖТФ*, Т. 28. Вып. 1. 2002. С. 39–47.
8. Анищенко Л. М., Лавренюк С. Ю. Математические основы проектирования высокотемпературных технологических процессов. М.: Наука, 1986. 80 с.
9. Щерба А. И., Канашевич Г. В., Дробот И. В., Алгоритм керування якістю поверхневого шару оптичних матеріалів при електронно-променевої мікрообробці. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ"* : зб. наук. пр. Темат. вип.: Математичне моделювання в техніці та технологіях. Харків : НТУ "ХПІ". 2012. № 27. С. 231–239.
10. А. с. 1488270 СССР, МКИ4 С 03 С15/00. Способ подготовки поверхности оптического стекла / А. П. Жужнева, В. П. Маслов, А. В. Тарадов, А. Н. Старшов, И. В. Калиниченко (СССР). № 4278563/23-33 заявл. 08.06.87 ; опубл. 23.06.89, Бюл. № 23. 1 с.

References

1. Burkat T. M., Dobychin D. P., Paltiel L. R. (1990) Kinetics and mechanism of water sorption on the optical surface of quartz glass // Rep. of the USSR Academy of Sciences. T. 310. No. 2. С. 376–379.
2. Paltiel L. R. Structure and adsorption properties of the surface of siliceous Dissertation diss. Cand. Chemistry: Leningrad. 1990. 19 p.
3. Glebov L. B., Ilyin V. G., Moiseev V. V. (1986) Scientific bases of ion-exchange synthesis of elements of gradient optics. Glassy state. Proceedings of the 13th All-Union Conference. Leningrad. P. 125–139.
4. Glebov L. B., Dokuchaev V. G., Evstropiev G. T. (1988) The influence of structural microstresses on the formation of the refractive index of glasses during low-temperature ion exchange. *Physics and chemistry of glass*. V. 14 № 1. P. 79–86.
5. Toporets A. S. (1988) Optics of a rough surface. L.: Mechanical Engineering. Leningrad Branch. 191 s.
6. Bogdanov A. P., Bunin I. G. (1988) Finishing of the shape of the optical surface by an ion beam of small cross section, controlled by programmed displacement. *OMP*. № 2. P. 39–42.

7. Stogniy A. I., Novitsky N. N., Stukalov O. M. (2002) Ion-beam polishing of nanoscale topography of optical materials. *Letters to ZhTF*, t 28, issue 1. P. 39–47.
8. Anishchenko L. M., Lavrenyuk S. Yu. (1986) Mathematical foundations of designing high-temperature technological processes. M.: Nauka. 80 p.
9. Shcherba A. I., Kanashevich G. V., Drobot I. V., The algorithm for controlling the quality of the surface layer of optical materials under electron-beam microprocessing. *Herald of the National tech Univ "HPI": Coll. sciences Temat ave. vip : Mathematical modeling in technology and technology*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2012. No. 27. P. 231–239.
10. Author's certificate 1488270 USSR, MKI4 C 03 C15 / 00. Method for preparing the surface of optical glass/ A. P. Zhuzhneva, V. P. Maslov, A. V. Taradov, A. N. Starshov, I. V. Kalinichenko (USSR). - No. 4278563 / 23-33 Appl 08.06.87; Publish 23.06. 1989, Bull №. 23. 1 p.

M. V. Holub, *assistant*

S. M. Matsepa, *assistant*

H. V. Kanashevych, *Dr.Tech.Sc., professor*

O. S. Alekseeva, *Ph.D., associate professor*

I. V. Khyzhniak, *Ph.D., senior lecturer*

P. P. Dmitrenko, *assistant*

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

METALIZATION OF A TECHNICAL GLASS WITH USING THE ELECTRON BEAM METHOD OF A SURFACE MICROPROCESSING

The data from electron beam processing are presented for improving the adhesion strength of metal films. The basis of this is the directed change in the physicochemical properties of the near-surface layer of the glass by processing a band electron beam with an electron energy of $E \leq 8 \text{ keV}$. The results can be used in precision micro-optics and integral optics technologies.

Keywords: *electronic stream, electron beam processing, electron beam microprocessing, near-surface layer of glass, silicate glass.*

Т. І. Веретільник, к.т.н., професор,
e-mail: vertim@mail.ua,

Л. Д. Мисник, к.т.н., доцент,
e-mail: l.mysnyk@chdtu.edu.ua,

О. В. Манзюра, ст. викладач,
e-mail: fktm-email@ukr.net,

Р. Б. Капітан, ст. викладач,
e-mail: kapitan_ruslan@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ КОЛІРНИХ ГАРМОНІЙ ТА ВІДТВОРЕННЯ КОЛЬОРУ В ПОЛІГРАФІЇ

У статті розглянуто деякі аспекти колірної гармонії та кольороутворення в поліграфії, використання природної гармонійності кольорів у художньому проектуванні об'єктів поліграфічного та мультимедійного виробництва.

Ключові слова: колір, гармонія, колірне сполучення, гармонія кольору, колірна композиція, кольороутворення.

Постановка проблеми. Все, що оточує нас, має певний колір, в природі немає безбарвних предметів. Одні кольори дуже яскраві і чисті, інші – бліді і настільки невизначені, що їм важко підібрати назву. Безмежна зміна колірних вражень супроводжує нас все життя. Більшу частину знань про оточуючий світ отримуємо, сприймаючи візуально колір, котрий ще з древності був і засобом інформації, і символом, і окрасою. В цьому полягає його соціальне значення. Вивчення кольору, як константи естетичного сприйняття, є важливою потребою часу.

Особливо актуальним є дослідження кольору в поліграфії. Основна задача, яку вирішують поліграфічні технології – це високоякісний друк кольорових зображень максимально наближених по відтворенню кольору до оригіналу. Досконалості немає меж, особливо коли мова йде про предмет, пов'язаний зі сприйняттям кольору. В умовах інтенсифікації розвитку процесів поліграфічного та мультимедійного виробництва гостро постає питання створення таких колірних рішень продукції (етикеток, обкладинок книг і журналів, зображень на їх сторінках, елементів керування та навігації у мультимедійних виданнях навчального, дидактичного, розважального спрямувань тощо), що дозволить не лише привернути увагу споживачів, але й вплинути на їх рішення про придбання даної продукції. Однак для формування грамотного

та доцільного колірного рішення продукції необхідно використовувати спеціалізовані знання щодо формування гармонійних колірних сполучень, формування колірних профілів, використання технологій кольороподілу, кольоровідтворення та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми кольору в мистецтві, архітектурі досліджувалися багатьма вченими та художниками з давніх часів. У кожен історичну епоху створювалися свої уявлення про колірну гармонію, розроблялися гармонійні колірні схеми, що активно використовувалися в художній практиці й істотно відрізнялися одна від одної за характером підбору і сполучення кольорів.

Науці про колір, зокрема питанням побудови колірних гармонійних сполучень, присвячені праці відомих вчених: Й. Гете, В. Освальда, Ж. Агостона, Р. Івенса, Р. Іттена, М. Коула, М. М. Волкова, Л. Н. Миронової, О. С. Зайцева, В. Ф. Ковальова, В. Н. Козлова, М. М. Степанова, Г. Цойгнера, П. Е. Шпери та інших.

Серед сучасних видань, присвячених як практичним, так і теоретичним питанням кольору і кольороутворення, чимало доробок вітчизняних та зарубіжних авторів, хоча переважно це посібники для широкого кола користувачів, тож основні моменти кольорознавства, як і проблема створення гармонійних

колірних сполучень, авторами висвітлюються недостатньо.

У посібнику В. Ф. Рунге “Основи теорії та методології дизайну” [1] питання колірної гармонії подається здебільшого з позицій психологічного сприйняття споживачами, лишаючи поза увагою актуальність на сучасному етапі графічного комп’ютерного проектування. Серед сучасних вітчизняних дослідників ґрунтовно розглядає питання використання кольору, колірних асоціацій та поняття колірної гармонії в галузі художнього проектування С. В. Прищенко [2, 3]. У галузі технічної естетики деякі науковці, зокрема, І. О. Кузнецова [4], займаються розробкою таких нових і цікавих напрямків, як візуальне сприйняття об’єктів мистецтва і дизайну на основі співвідношення світлих і темних елементів. Проблемам колірної гармонії у галузі художнього проектування приділяє значну увагу і відомий болгарський рекламист Х. Кафтанджієв [5]. Р. Олтман [6] та Д. О’Квін [7] головну увагу приділяють чисто технічним питанням, важливим для видавничої поліграфії, у скороченому форматі подають дані з фізичної природи кольору, а також питання утворення колірних каналів і двох основних колірних моделей CMYK та RGB.

Отже, як бачимо, у світовій та вітчизняній літературі колір і колірна гармонія вивчаються з різних аспектів, але висвітлення проблеми створення колірної гармонії у візуальних комунікаціях має доволі фрагментарний характер, колірна гармонія не розглядається як єдина комплексна система, а в останнє десятиріччя з’явилася нова проблема гармонійного кольороутворення прикладного характеру з урахуванням комп’ютерних технологій виробництва, що визначає актуальність більш поглибленого вивчення даного питання.

Мета статті. Дослідження закономірностей побудови колірних гармонійних сполучень, використання природної гармонійності кольорів у художньому проектуванні об’єктів поліграфічного і мультимедійного виробництва та впливу кольору в сучасній поліграфічно-видавничій діяльності. Висвітлення деяких аспектів функції кольору та виникнення колірних асоціацій з позицій гармонійного кольороутворення.

Основний матеріал досліджень. У сучасних дослідженнях основними аспектами кольору обрано фізичний, символічний, психофізіологічний та образно-психологічний,

проте вони не передбачають комплексний підхід до кольору як до одного з найважливіших художніх засобів у створенні візуального оточення.

Важливо зазначити що колір у поліграфічному дизайні дозволяє реалізувати його комунікативну функцію, адже, приміром, фірмовий колір має особливе значення для “впізнання” фірми – поряд із фірмовим знаком і шрифтом. Ця функція базується на особливості кольору сприйматися й запам’ятовуватися значно швидше за письмову інформацію, і тому колір усе частіше стає одним із вагомих чинників створення стилю промислової продукції [8]. Професійне кольоро-графічне вирішення стає одним з основних важелів психологічного впливу на споживача, що звернений, в першу чергу, до емоцій людини. Кольорове рішення друкованої продукції не може бути випадковим. Точний і вірний вибір кольору для поліграфії залежить від трьох факторів: психології кольору, особливостей кольорового сприйняття і традиції нації по відношенню до кольору.

Грамотне використання кольору в поліграфії може виконувати ряд функцій: привертати увагу, покращувати запам’ятовування реклами, формувати позитивне відношення до товарів чи послуг, виокремлювати, підкреслювати окремі елементи, врівноважувати композицію. Повнокольоровий друк приваблює споживачів і запам’ятовується на 50-80% більше, ніж чорно-білий.

Як і в живописі, колір у поліграфічній композиції – основа художньої мови, найбільш важливий формотворчий чинник, що впливає на почуття, створює настрій і є найважливішим засобом образно-психологічної характеристики зображення. Невипадково останнім часом зусилля поліграфістів і дизайнерів спрямовані на створення “емоційних” товарів і послуг.

Розробляючи поліграфічну продукцію, важливо не тільки використовувати засоби проектно-графічного моделювання шрифтів, знаків та символів, а також обґрунтовувати варіанти кольорографічних рішень для певних об’єктів-носіїв. Потрібно враховувати характер діяльності, необхідність забезпечення індивідуальності зображення, зрозумілості графічної мови та ін. Створюючи, наприклад, товарний знак, емблему чи логотип, необхідно паралельно розробляти виразні, композиційно завершені кольорові зображення як

складові візуального повідомлення – кольорографічного тексту.

При роботі з кольором потрібно знати основні властивості кольорів і розуміти основні терміни кольорознавства: основний (первинний) колір, похідний (вторинний, третинний) колір, тональність, відтінок. Необхідно уявити бажаний результат, який досягається за допомогою кольору, потім зорієнтуватись у виборі основного кольору, що задовольняв би потреби проекту, далі потрібно вибрати комбінацію залежні від обраної гами і застосувати обране кольорове рішення до індивідуального проекту.

При оформленні книг чи іншої друкованої продукції важливою проблемою є знаходження гармонійних кольорових сполучень. Якщо, наприклад, оформити обкладинку в дві фарби, то залежно від вибраних кольорів їх сполучення сприйматиметься як гармонійне (“гарне”) або як негармонійне (“негарне”).

В пошуках гармонії колориту постає питання про вибір цілої гами (інколи досить широкої) не конфліктуючих один з одним кольорів, тобто вибір “палітри”, або загального колориту продукції. Відомо, наприклад, що ряд блідих кольорів може створювати приємне враження, але достатньо помістити між ними один насичений колір, щоб вони здались брудними, негарними. Насичений і яскравий колір, як правило, “вбиває” слабші та сіруваті. Цілий ряд умов може створювати враження більшої чи меншої привабливості кольору. Тому поєднання кольорів, які зазвичай розглядаються як кольорові гармонії, фактично визначаються естетикою ізольованого кольору, оскільки комбінація цих кольорів посилює враження чистоти кожного з них.

Основними критеріями у виявленні властивостей кольорів є визначення – світлий або темний. Без світлоти не буде поняття, що використовується для вираження ідей та емоцій кольору. Вторинні аспекти кольору стосуються комбінацій, які збалансовано існують одна з одною. Колір поєднує в собі індивідуальні та універсальні якості, варіанти його сприйняття нескінченні.

Існує 10 базових кольорових комбінацій.

Ахроматична – застосовуються білий, чорний та сірий кольори.

Аналогова – використовується будь-яка із послідовних гам, будь-які її тони та відтінки.

Контрастна – колір поєднується з гамою, що розташована праворуч або ліворуч від доповнення.

Доповнююча – використовуються діаметрально протилежні кольори спектра.

Монохроматична – використовується одна гама в комбінації з одним або всіма її тонами та відтінками.

Нейтральна – використовується гама, яка була приглушена або нейтралізована додаванням її доповнюючого чорного кольору.

Роздільно доповнююча – створюється з однієї або двох гам по два боки її доповнення.

Первинна – комбінуються чисті гами червоного, жовтого та голубого кольорів.

Вторинна – комбінуються вторинні зелені, фіолетові та оранжеві кольори.

Третинна – тріадою служить одна з двох комбінацій: червоно-оранжева, жовто-зелена та синьо-фіолетова або синьо-зелена, жовто-оранжева та червоно-фіолетова [9].

Деякі спеціалісти з кольору та кольорознавства колірні гармонії поділяють на дві групи: контрастні та нюансні. Контрастні гармонії ґрунтуються на протиставленні кольорів, що беруть участь у композиції за однією або декількома характеристиками (колірний тон, світлота, насиченість, площа). Найбільш контрастною за колірним тоном є гармонія взаємно доповнюючих кольорів. Поєднання доповнюючих (контрастних) кольорів здається різким, але ефектним, і часто використовується в рекламі або дизайні упаковки.

В основі нюансних гармоній лежать близькі за колірним колом кольори. Використання колірних тріад засновано на поєднанні трьох кольорів, які рівно відносяться на колірному колі. Важливим показником гармонії є так званий домінуючий колір, який є основним у композиції. В контрастних гармоніях решта кольорів протиставляються домінуючому, а в нюансних гармоніях вони, навпаки, наближаються до нього та підпорядковуються його основним рисам.

Колір також може якісно виграти, якщо буде розміщений на чорному фоні. Зазвичай поєднання світлого і темного кольорів не створює враження посилення чистоти обох. Дійсно, якщо темний контрастний колір посилює враження яскравості, а разом з тим і чистоти світлого, то сусідній світлий, навпаки, знижує яскравість темного. І лише у випадку, коли темним є чорний колір, контраст світлого на темному не має негативної (забруднюючої) дії. Уявне потемніння чорного кольору робить його ще глибшим, чорнішим, тобто чистішим. Таким чином, від поєднання

світлого і темного виграють обидва кольори. Цей ефект дуже широко використовується в орнаментах.

Контрастні поєднання привабливі для друкованої продукції рекламного-плакатного типу; вони можуть використовуватись і при оформленні обкладинки, якщо вона має плакатний характер.

Поєднання додаткових кольорів створюватиме більш заспокійливе враження, якщо один з кольорів буде чистим, а інший – висвітленим чи затемненим. Можна використати також два затемнених або два висвітлених кольори (темно-червоний і темно-зелений, світло-червоний і світло-зелений), що створить більш спокійну гармонію. Крім тонів (з додаванням білого) і відтінків (з додаванням чорного) кольорів можна варіювати і насиченість, тобто утворювати кольори з додаванням сірого кольору різної світлоти.

Дисгармонія двох кольорів може бути пом'якшена зменшенням площі, яку займає один з них, а також шляхом внесення нейтралізуючих елементів (розділяючий чорний чи білий колір, сіре поле та ін.). Неприємне враження, яке створюють негармонійні фарби, можна також зменшити їх затемненням. Дуже часто дисгармонійні фарби дають зовсім інший ефект при багаторазовому ритмічному повторі.

Гармоніями між похідними одного кольору називають поєднання двох або кількох тонів чи відтінків одного і того ж кольору, наприклад поєднання чистого кольору і висвітленого або чистого і затемненого. Ці поєднання в більшості випадків створюють спокійне, приємне враження. Вони можуть доповнювати гармонії іншого виду. Так, наприклад, гармонію чотирьох кольорів можна побудувати наступним чином: використати два гармонійних кольори і додати до них ще два кольори тих же тонів або відтінків. У випадку трьох кольорів можна використати два гармонійних і додатково один з них висвітлений чи затемнений.

Звичайний прийом при оформленні – друкування темною фарбою на папері того ж кольорового тону, але світлому – також побудований на гармонії між похідними. У виробництві палітурок цей принцип гармонії має місце при блінтовому тисненні, оскільки в результаті впливу штампа матеріал палітурки набуває більш темного відтінку.

Якщо змінити один з кольорів, які входять в гармонійну комбінацію, то інші кольори для збереження закономірності також мають бути змінені. Наприклад, якщо в тріаді червоний, жовтий, синій використати червоний пурпурового відтінку, то жовтий має бути помаранчевим, а синій – зеленуватим. Якщо взяти помаранчево-червоний, то жовтий доведеться взяти зеленуватим, а синій – з фіолетовим відтінком. Таким чином, кожного разу всі три кольори зсуватимуться в один і той же бік по колірному колу. До кожної пари або тріади можна, крім того, додавати білий колір, чорний і сірий, а також золото і срібло.

Узагальнюючи відомості про гармонію кольору і колірних композицій, можна зробити такі висновки: найкращі поєднання дають кольори у рамках більших та малих інтервалів у колірному колі, гірші – в рамках середніх інтервалів; малі інтервали сприймаються радше як відтінки одного й того ж кольору, а не як поєднання кольорів; при поєднанні кольорів слід дотримуватися співвідношення світлоти, яка має місце в колірному колі; більш інтенсивні кольори при поєднанні з менш інтенсивними слід використовувати в меншій кількості; хроматичні кольори можна співвідносити з ахроматичними, при чому теплі кольори виграють від поєднання з темними, а холодні – зі світлими.

Та попри все, закони кольорових гармоній досить відносні і ні в якому разі не можуть бути встановлені раз і назавжди. Вони переважно засновані на приватних спостереженнях, узагальнених до “загальних норм” [10]. Суб’єктивні колірні уподобання засвідчують неоднозначність уявлень про гармонійність та дисгармонійність колірних сполучень. Якщо розробник ставить перед собою завдання інтерпретації суб’єктивних колірних проявів, він не має задовольнятися лише оцінкою конкретних колірних характеристик чи їхньої виразності, адже головними чинниками тут є загальна тональність в цілому, взаємне розташування кожного кольору, їхній рух, яскравість, світлота чи затемненість, пропорційність, структура та колірний ритм. Не можна забувати також і про важливість максимального збереження об’єктивності попри індивідуальні колірні уподобання, і тут вкрай необхідне дисципліноване колористичне мислення та знання колірних можливостей – оскільки саме це дозволяє уникнути типових

помилку “особистого смаку” та однобічності в колористичному вирішенні проекту.

Необхідний підвищений професійний підхід до використання законів колористичної побудови гармонійно організованих композицій, що базуються на широкій палітрі відтінків, взаємозв'язку та виразності елементів колірної композиції, адже і в живопису, і в поліграфічному виробництві колір є основою художньої мови, потужним чинником для впливу на почуття та створення певного настрою.

Висновки. Питання сприйняття кольору та створення колірної гармонії є однією з важливих складових при розробці та художньому проектуванні об'єктів поліграфічного та мультимедійного виробництва. У цьому контексті вкрай важливим стає набуття сучасним поліграфістом знань з колірної відповідності зображення, загальної естетики і законів колірної гармонійності. Вивчення механізмів сприйняття кольору і досягнення колірної гармонії є важливим моментом як у процесі набуття студентами теоретичних знань, так і практичного застосування комплексу закономірностей гармонійного кольороутворення під час пошуку рішення друкованої продукції, особливо за умов широкого використання можливостей комп'ютерної графіки.

Отже, враховуючи те, що підхід до кольору як константи естетичного сприйняття дуже актуальний при розробці об'єктів поліграфічного та мультимедійного виробництва, питання колірної гармонії в контексті проблематики художнього проектування і дизайну потребують подальших досліджень та більш глибокого вивчення.

Сучасній поліграфії України потрібен синтез у кольорографії, тобто поєднання основних традиційних питань теорії кольору і теорії композиції, питань психофізіології сприйняття кольору з новітніми чинниками – використанням природної гармонійності кольорів, українських колористичних традицій, особливостей кольороутворення у прикладних графічних програмах та у цифрових технологіях сучасного поліграфічного виробництва.

Список літератури

1. Рунге В. Ф. Основы теории и методологии дизайна. М.: МЗ-Пресс, 2001. 252 с.
2. Прищенко С. В. Комп'ютерні технології у моделюванні колірних гармонійних

сполучень. *Технічна естетика і дизайн: зб. наук. праць*. К.: Віпол, 2006. Вип. 5–6.

3. Прищенко С. В. Естетичні параметри колористичного формоутворення в рекламній графіці України: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.01.03. К.: КНУБА, 2008. 20 с.
4. Кузнєцова І. О. Моделювання візуального сприйняття об'єктів дизайну, декоративно-прикладного і образотворчого мистецтва: дис... д-ра техн. наук: 05.01.03. К.: КНУБА, 2006. 415 с.
5. Кафтанджиев Х. Гармония в рекламной коммуникации. М.: Эксмо, 2005. 368 с.
6. Олтман Р. Corel Draw 9. Полное руководство. пер. с англ. М. Энтроп, 2000. 783 с.
7. О'Квин Д. Допечатная подготовка. Руководство дизайнера. М.: И. д.: Вильямс, 2001. 590 с.
8. Харченко В.І. Проблеми колірної гармонії у контексті графічного дизайну. *Українська академія мистецтва: зб. наук. праць*. К.: НАОМА, 2013. Вип. 20.
9. Саттон Т. Гармония цвета: Полное руководство по созданию цветовых комбинаций / пер. с англ. М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2004. 215 с.
10. Стефанов С., Тихонов В. Цвет в полиграфии и не только. М.: Репроцентр М, 2003. 320 с.

References

1. Runhe, V. F. (2001) Theory and Methodology Design Basis. M.: MZ-Press. 252 p. [in Russian].
2. Pryshchenko, S. V. (2006) Computer Technology for harmony color combinations modeling. Technical aesthetics and design: collection of scientific work. K.: Vipol. Issue 5-6 [in Ukrainian].
3. Pryshchenko S. V. (2008) Aesthetic parameters of colorforming in advertising graphics of Ukraine: abstract of the thesis of candidate of technical Sciences: 05.01.03. K.: KNUCA. 20 p. [in Ukrainian].
4. Kuznetzova I. O., Кузнєцова І. О. (2006) Modeling visual perception of design objects, applied arts and fine arts: thesis of candidate of technical Sciences: 05.01.03. K.: KNUCA. 415 p. [in Ukrainian].

5. Kaftandzyjev H. (2005) Advertising Communication Harmony. M.: Eksmo. 368 p. [in Russian].
6. Oltmann R. (2000) Corel Draw 9. Complete Guide. Translation from English. M.: Antrop. 783 p. [in Russian].
7. O'Quinn D. (2001) Prepress. Designer's Guide. M.: Williams. 590 p. [in Russian].
8. Harchenko V. I. (2013) Problems of color harmony in the context of graphic design. Ukrainian Academy of Art: collection of scientific works. K.: National Academy of Architecture and Art. Issue 20. [in Ukrainian].
9. Satton T. (2004) Color Harmony Workbook: A Workbook and Guide to Creative Color Combinations. Translation from English. M.: OOO «Astrel Issue»: OOO «Issue AST» 215 p. [in Russian].
10. Stephanov S, Tihonov V. (2003) Color in Polygraphy and even more . M.: Reprocenter M. 320 p. [in Russian].

T. I. Veretil'nyk, *Ph.D., associate professor*
e-mail: vertim@mail.ua

L. D. Mysnyk, *Ph.D., associate professor*
e-mail: l.mysnyk@chdtu.edu.ua

O. W. Manzjura, *senior lecturer*
e-mail: fktm-email@ukr.net

R. B. Kapitan, *senior lecturer*
e-mail: kapitan_ruslan@ukr.net

Cherkassy State Technological University
460, Shevchenko avenue, Cherkassy, 18006, Ukraine

USE OF COLOUR HARMONY AND REPRODUCTION IN POLYGRAPHY

The item considers some aspects of color harmony and color formation in polygraphy, nature color harmony use in artistic design of objects of polygraphic and multimedia production.

Keywords: *color, harmony, color combination, color harmony, color composition, color formation.*

УДК 621.338.27:53

І. В. Яценко, д.т.н.

e-mail: irina.yatsenko.79@ukr.net

В. А. Ващенко, д.т.н., професор, завідувач кафедри фізики**В. В. Цибулін, викладач**

Черкаський державний технологічний університет

бул. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ ДО ЗОВНІШНІХ ТЕРМІЧНИХ ВПЛИВІВ

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що після попередньої обробки робочих поверхонь елементів з оптичних керамік рухомим електронним променем для діапазонів зміни його параметрів (густини теплового впливу $F_n = 10...1,6 \cdot 10^7$ Вт/м² та швидкості його переміщення $V = 10^3...10^1$ м/с) підвищується мікротвердість поверхні у 1,5...1,7 рази; у поверхневих шарах товщиною 40...60 мкм виникають стискачі термопружні напруження величиною 25...90 МПа, які призводять до утворення зміцнених шарів товщиною до 210...230 мкм. Отримано, що покращення властивостей поверхневих шарів оптичних елементів після їх електронно-променевої обробки призводить до підвищення стійкості елементів до зовнішніх термовпливів: збільшуються у 2...4 рази критичні значення зовнішніх теплових потоків та тривалості їх дії, які призводять до руйнування елементів; при цьому збільшення зовнішнього тиску від 10^5 Па до 10^7 Па знижує вказані критичні значення параметрів у 1,3...1,7 рази; підвищуються у 1,8...2,7 рази значення гранично допустимих термопружних напружень у оптичних елементах, оброблених електронним променем, для діапазонів зміни температури нагріву 300...1200 К.

Ключові слова: оптико-електронне приладобудування, оптична кераміка, електронний промінь, мікроструктура, твердість, термопружні напруження.

Вступ. Успіхи, які досягнуті за останню чверть століття у освоєнні електронно-променевої технології, призвели до створення різноманітних оптико-електронних приладів промислового, наукового, медичного та військового призначення [1 – 4].

Сучасні оптико-електронні прилади з елементами з оптичних керамік (КО1, КО2, КО3, КО5, КО12 тощо) (диски як підкладки світлофільтрів ІЧ-приладів, вхідні захисні вікна лазерних прицільних комплексів для спостереження у ІЧ-областях спектра, півсферичні обтічники ІЧ-приладів самонаведення та спостереження за об'єктами тощо) піддаються інтенсивним зовнішнім термовпливам (підвищені температури нагріву та зовнішні тиски, ударні термодії в умовах пострілу та польоту тощо) в умовах експлуатації (рис. 1).

У вказаних умовах відбувається суттєва зміна властивостей поверхневих шарів оптичних елементів аж до їх руйнування (поява тріщин, сколів та ін. дефектів), що призводить до

суттєвого погіршення техніко-експлуатаційних характеристик приладів (надійності, строку служби тощо) та їх виходу з ладу.

Тому актуальним є попередження вказаних небажаних явищ на стадії проектування та виготовлення приладів з оптичними елементами, що розглядаються.

Багаточисельні експериментальні дослідження [3, 5 – 9] показують, що для запобігання руйнувань оптичних елементів велике практичне значення мають електронно-променеві методи фінішної обробки їх робочих поверхонь, що дозволяють значно покращувати (більше, ніж у декілька разів) властивості їх поверхневих шарів (мікротвердість, товщину зміцнених шарів тощо), які впливають на стійкість матеріалів до зовнішніх термовпливів.

Нині дослідження з попередження можливих руйнувань оптичних елементів точного приладобудування в умовах їх експлуатації з врахуванням впливу зовнішніх термодій відсутні. Крім цього, питання впливу термічної

дії електронного променя на поверхню оптичних елементів, на їх стійкість до зовнішніх термовпливів досліджено недостатньо: не встановлено оптимальні діапазони зміни параметрів електронного променя (густини теплової дії, швидкості переміщення), в межах яких спостерігається суттєве покращення властивостей поверхневих шарів елементів, підвищення їх стійкості до теплових навантажень

і, в кінцевому випадку, покращення техніко-експлуатаційних характеристик приладів.

Таким чином, **метою роботи** є попередження руйнувань елементів приладів з оптичних керамік шляхом покращення властивостей поверхневих шарів елементів та підвищення їх стійкості до зовнішніх термовпливів за допомогою попередньої електронно-променевої обробки.

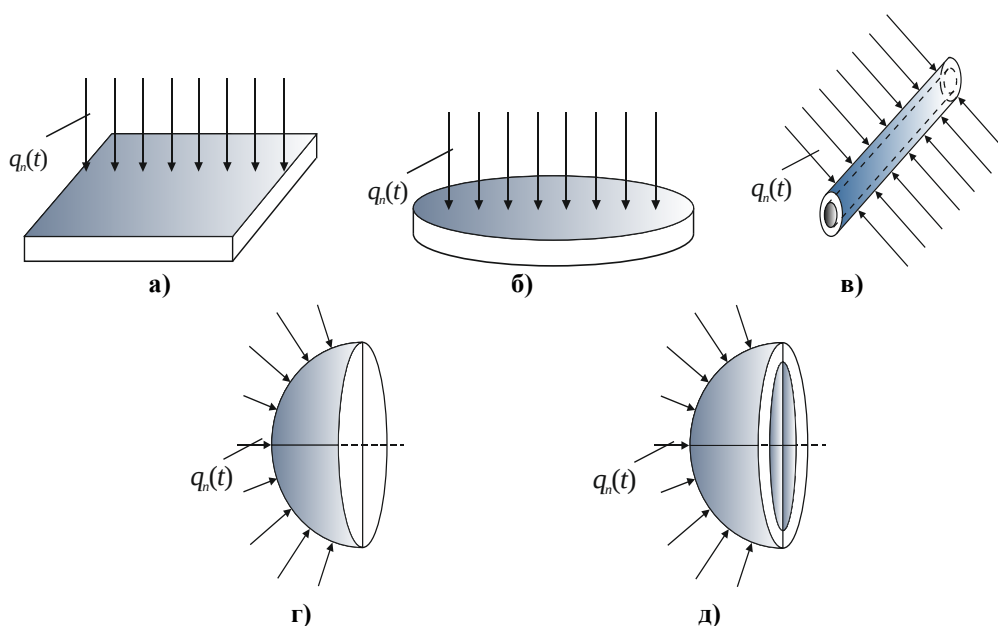


Рис. 1. Загальний вигляд оптичних елементів, які піддаються зовнішнім термовпливам в умовах експлуатації приладів на їх основі: а) – пластини; б) – диски; в) – світловоди; г), д) – півсферичні обтічники; $q_n(t)$ – густина зовнішньої теплової дії, Вт/м²

Методики та установки для проведення досліджень. Для дослідження впливу параметрів електронного променя на властивості поверхневих шарів елементів з оптичної кераміки (КО1, КО2, КО3, КО5, КО12) використовувались диски діаметром $3 \cdot 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-2}$ м та товщиною $4 \cdot 10^{-3} \dots 6 \cdot 10^{-3}$ м, півсферичні обтічники діаметром $4 \cdot 10^{-2} \dots 8 \cdot 10^{-2}$ м [8 – 11]. Для проведення досліджень термічної дії рухомого електронного променя на елемент з оптичної кераміки було використано розроблене за участю авторів спеціалізоване електронно-променеве обладнання, яке захищене патентом України [12], що дозволяє реалізувати стрічковий електронний промінь шириною $5 \cdot 10^{-4} \dots 5 \cdot 10^{-3}$ м, довжиною $6 \cdot 10^{-2} \dots 8 \cdot 10^{-2}$ м, густиною теплової дії $F_n = 5 \cdot 10^6 \dots 9 \cdot 10^8$ Вт/м² та швидкістю переміщення $V = 5 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-1}$ м/с.

Для моделювання теплових впливів на досліджувані елементи при нормальних умовах ($T_0 = 293$ К, $P = 10^5$ Па) та знаходження

критичних значень їх параметрів (теплого потоку q_n^* та часу його дії t^*) використовувалася керований ГЧ-нагрів кварцовими лампами типу КГТ-220-1000-1 з використанням термодатчиків РИФ-101 для контролю температур поверхонь елементів в діапазоні 300...1900 К та теплових потоків, що поступають на них.

Для моделювання впливів підвищених температур нагріву (до 1500 К) та зовнішніх тисків (до 10^7 Па) використовувалася стандартна установка, випробування на якій проводились за методиками, розроблених на ВО “Завод Арсенал” (м. Київ) та Черкаському державному технологічному університеті в рамках спільних науково-дослідних робіт [3, 8].

Для визначення властивостей поверхневих шарів оптичних елементів до та після електронно-променевої обробки (мікротвердості поверхні (H_v , МПа), величин залишкових термонапружень (σ , МПа) та товщин зміцнених шарів (Δ , мкм) використовувались відомі ме-

тоди фізико-хімічного аналізу (мікроідентифікація за методом Вікерса, методи оптичної мікроскопії та мікрозондового аналізу, які включають растрову та скануючу мікроскопію (РЕМ) та трансемісійну електронну мікроскопію (ТЕМ), дифрактометри загального призначення ДРОН-0,5, ДРОН-2,0, ДРОН-3,0 з спеціальними приставками для вимірювання мікронапружень у поверхневих шарах тощо [13 – 15]. Межа міцності оптичних елементів $\sigma^*(T)$ до та після електронно-променевої обробки знаходили методом центрально-кільцевого вигину (ЦКВ) [10, 11].

У проведених дослідженнях з визначення перерахованих вище властивостей поверхневих шарів оптичних елементів та критичних значень параметрів зовнішніх впливів відносна похибка не перевищувала 5...10 %.

Результати досліджень та їх аналіз. Експерименти з електронної обробки елементів з оптичних керамік показали, що вони не можуть бути оплавлені у вакуумі внаслідок високої пружності парів [8]. Так, попередній нагрів у вакуумі оптичних елементів навіть до 1300 К, призводить до розвинутого випаровування матеріалу, а при намаганні його оплавлення рідка фаза практично не утворюється. При цьому електронна обробка елементів з оптичної кераміки без попереднього нагріву призводить до підвищення їхньої мікротвердості, впорядкування структури та зміцнення за рахунок формування у поверхневих шарах стискаючих напружень і тим самим до підвищення міцності виробів до ударних теплових впливів, яким вони піддаються в умовах експлуатації.

Електронно-мікроскопічний аналіз знімків поверхонь та поперечних шліфів оптичної кераміки до та після електронної обробки показує, що відбувається помітна зміна структури по глибині матеріалу (до 250...300 мкм), яка найбільш суттєво залежить від параметрів електронного променя (F_n , V).

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що для розглянутих діапазонів зміни параметрів електронного променя ($F_n = 10^6 \dots 1,6 \cdot 10^7$ Вт/м², $V = 10^{-3} \dots 10^{-1}$ м/с) мікротвердість поверхні елементів збільшуються від 1,2...2,9 ГПа (для необроблених елементів) до 5,7...6,4 ГПа (для оброблених елементів). При цьому збільшення F_n від 10^6 Вт/м² до $1,6 \cdot 10^7$ Вт/м² призводить до збільшення мікротвердості поверхні кера-

міки у 1,5...1,7 рази, а збільшення V від 10^{-3} до 10^{-1} м/с призводить до зменшення мікротвердості поверхні кераміки у 1,3...1,4 рази.

Результати досліджень зміни мікротвердості по глибині елементів з оптичних керамік, оброблених електронним променем, представлені на рис. 2. З цих даних випливає, що мікротвердість матеріалу усіх типів розглянутих керамік достатньо швидко зменшується, прямуючи до свого значення для необроблюваного матеріалу. При цьому товщина зміцненого шару (Δ), де виникають основні структурні зміни та підвищується мікротвердість оброблюваного матеріалу для розглянутих параметрів електронного променя змінюється в діапазоні від 70...90 мкм до 210...230 мкм при товщинах оброблюваних виробів $4 \dots 6 \cdot 10^{-3}$ м. Величина Δ суттєво залежить як від природи кераміки, так й від параметрів електронного променя: збільшення F_n від 10^6 Вт/м² до $2 \cdot 10^7$ Вт/м² призводить до збільшення товщини зміцненого шару у 1,8...2,6 рази, а збільшення швидкості руху променя від $1,5 \cdot 10^{-3}$ м/с до $2 \cdot 10^{-2}$ м/с призводить до зменшення товщини зміцненого шару у 1,7...2,5 рази.

Встановлено, що вплив електронного променя на поверхню елементів з оптичної кераміки призводить до збільшення блоків мозаїки та зменшення мікродеформацій кристалічної ґратки: величина блоків мозаїки від вихідного до обробленого електронним променем оптичних елементів збільшується у 3,9 рази для елементів з КО1, у 5,5 рази для елементів з КО2, у 3,3 рази для елементів з КО12, у 4,7 рази для елементів з КО3 та у 7,7 рази для елементів з КО5, а величина мікродеформацій зменшується у 3,7 рази для елементів з КО1, у 5,4 рази для елементів з КО2, у 4,2 рази для елементів з КО12, у 5,5 рази для елементів з КО3 та у 5,9 рази для елементів з КО5.

При цьому встановлено, що незалежно від технологічних режимів обробки (значень F_n та V для розглянутих діапазонів їхньої зміни) елементів з оптичних керамік у всіх випадках спостерігається збільшення розмірів блоків мозаїки та зменшення мікродеформацій їхніх кристалічних ґраток, тобто в результаті електронної обробки отримуються більш крупнозернисті поверхневі шари з напруженнями у кристалічних ґратках.

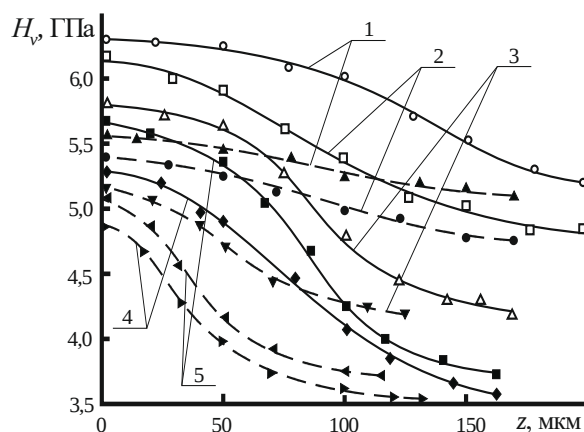


Рис. 2. Зміна мікротвердості по глибині елементів з оптичних керамік КО12 (1), КО2 (2), КО1 (3), КО3 (4) та КО5 (5), які оброблені електронним променем, для різних значень його густини теплового впливу ($V = 7 \cdot 10^{-3}$ м/с): — — — $F_n = 1,5 \cdot 10^7$ Вт/м²; - - - $F_n = 5 \cdot 10^6$ Вт/м²; $\Delta, \circ, \square, \blacktriangle, \blacksquare, \blacklozenge, \blacktriangledown, \bullet, \blacktriangleright, \blacktriangleleft$ — експериментальні дані

Аналіз отриманих змін параметрів кристалічних ґраток елементів після електронної обробки у відповідності з відомими методами розрахунку даних рентгенограм [13 – 15], що базуються на прямій аналітичній залежності між залишковими напруженнями, які діють по поверхні елемента та зміною періоду кристалічної ґратки основних компонентів розглядуваних керамік, показав наявність стискаючих напружень у тонких поверхневих шарах елементів глибиною 40...60 мкм для центра-

льної частини оброблених ділянок (розмір ділянок $4 \cdot 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-2}$ м) у розглядуваних діапазонах зміни параметрів електронного променя: для елементів з оптичної кераміки КО1 – до 30...40 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО2 – до 60...70 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО3 – до 25...30 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО5 – до 55...65 МПа; для елементів з оптичної кераміки КО12 – до 75...90 МПа.

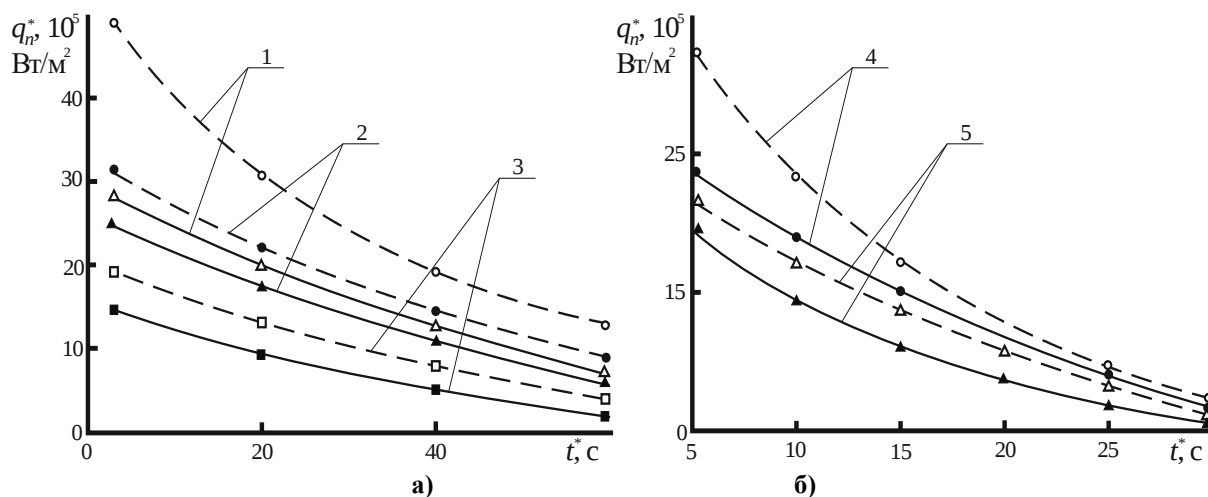


Рис. 3. Залежності критичних значень зовнішніх теплових потоків q_n^* від часу їх дії t^* на оброблені та необроблені електронним променем оптичні елементи (товщина елемента $H = 4 \cdot 10^{-3}$ м, $T_0 = 300$ К, $P = 10^5$ Па): — — — необроблені елементи; - - - оброблені елементи ($F_n = 1,6 \cdot 10^7$ Вт/м², $V = 10^{-3}$ м/с); а) – елементи з оптичних керамік КО5 (1), КО1 (2) та КО12 (3); б) – елементи з оптичних керамік КО3 (4) та КО2 (5); $\Delta, \circ, \square, \blacktriangle, \blacksquare, \bullet$ – експериментальні дані

В результаті проведених досліджень було встановлено, що після попередньої електронно-променевої обробки оптичних елементів відбувається збільшення критичних значень зовнішніх теплових потоків q_n^* та часу їх дії t^* у 2...4 рази (рис. 3). При цьому збільшення зовнішнього тиску до 10^7 Па, які можуть реалізовуватися, наприклад, у фронті ударної хвилі при надзвуковому обдуві потоком повітря обтічників ІЧ-приладів в умовах

пострілу та польоту [8], призводить до збільшення значень q_n^* та t^* тільки у 1,3...1,7 рази (рис. 4).

Крім цього, також було показано, що гранично допустимі значення термопружних напружень σ^* при різних температурах нагріву T для оптичних елементів, оброблених електронним променем, у 1,8...2, 7 рази вище, ніж для необроблених елементів (рис. 5).

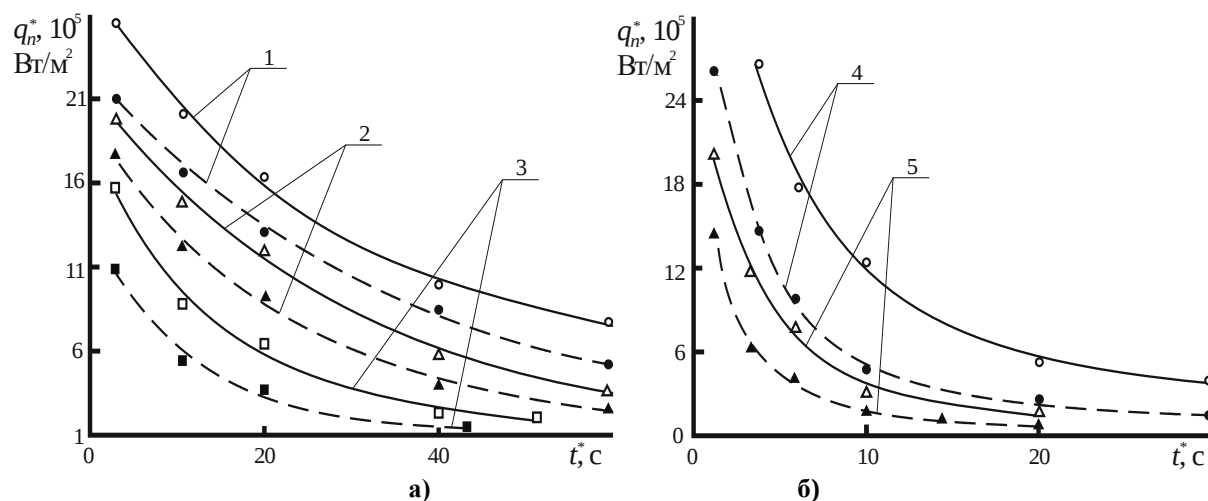


Рис. 4. Залежності критичних значень зовнішніх теплових потоків q_n^* від часу їх дії t^* на оброблені електронним променем оптичні елементи (товщина елемента $H = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $F_n = 1,6 \cdot 10^7$ Вт/м², $V = 10^{-3}$ м/с): — — — $P = 10^5$ Па; - - - $P = 10^7$ Па; а) – елементи з оптичних керамік КО5 (1), КО1 (2) та КО12 (3); б) – елементи з оптичних керамік КО2 (4) та КО3 (5); Δ , $\circ$, $\square$, $\blacktriangle$, $\blacksquare$, $\bullet$ – експериментальні дані

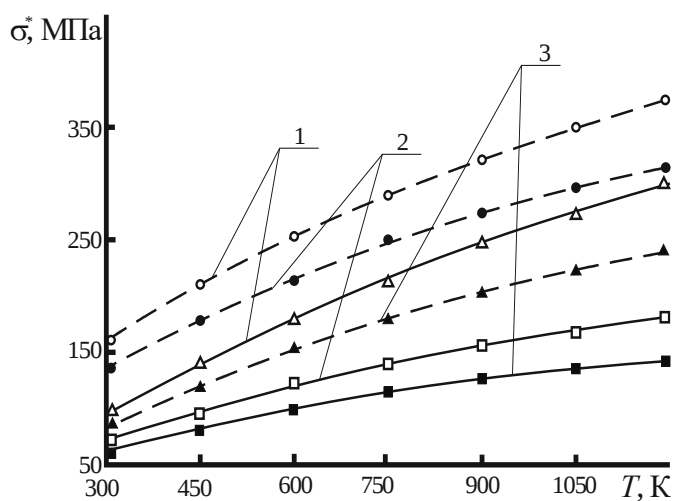


Рис. 5. Залежність величини гранично допустимих термопружних напружень в елементах з оптичних керамік КО1 (1), КО2 (2), КО3 (3) від температури нагріву ($P = 10^5$ Па, товщина елемента $H = 4 \cdot 10^{-3}$ м, $F_n = 1,6 \cdot 10^7$ Вт/м², $V = 10^{-3}$ м/с): — — — елементи не оброблені електронним променем; - - - оброблені елементи; Δ , $\circ$, $\square$, $\blacktriangle$, $\blacksquare$, $\bullet$ – експериментальні дані

Використання отриманих результатів при проектуванні та виготовленні нових при-

ладів, а також модернізації серійних оптико-електронних приладів з розглядуваними оп-

тичними елементами (світлофільтрів ІЧ-приладів, лазерних прицільних комплексів, ІЧ-приладів самонаведення та спостереження, лазерних медичних приладів на основі оптичних світловодів тощо) дозволяє підвищити їх основні техніко-експлуатаційні характеристики (надійність, ресурс та строк служби тощо) при їх експлуатації з врахуванням впливу зовнішніх термодій, наприклад, при їх зберіганні або транспортуванні в умовах виникнення високотемпературних осередків пожежі (склади зберігання, зони бойових дій тощо), а також при застосуванні виробів з ІЧ-приладами самонаведення та спостереження в умовах пострілу та польоту (ударні зовнішні теплові та механічні впливи тощо).

Висновки

1. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що після попередньої обробки робочих поверхонь елементів з оптичних керамік (КО1, КО2, КО3, КО5, КО12) рухомим електронним променем для діапазонів зміни його параметрів (густини теплового впливу $F_n = 10^6 \dots 1,6 \cdot 10^7$ Вт/м² та швидкості його переміщення $V = 10^{-3} \dots 10^{-1}$ м/с) покращуються основні властивості їх поверхневих шарів:

- підвищується мікротвердість поверхні у 1,5...1,7 рази;
- у поверхневих шарах товщиною 40...60 мкм виникають стискачі термopружні напруження величиною 25...90 МПа, які призводять до утворення зміцнених шарів товщиною до 210...230 мкм.

2. Отримано, що покращення властивостей поверхневих шарів оптичних елементів після їх електронно-променевої обробки призводить до підвищення стійкості елементів до зовнішніх термовпливів:

- збільшуються у 2...4 рази критичні значення зовнішніх теплових потоків та тривалості їх дії, які призводять до руйнування елементів; при цьому збільшення зовнішнього тиску від 10^5 Па до 10^7 Па знижує вказані критичні значення параметрів у 1,3...1,7 рази;
- підвищуються у 1,8...2,7 рази значення гранично допустимих термopружних напружень у оптичних елементах, оброблених електронним променем, для діапазонів зміни температур нагріву 300...1200 К.

Список літератури

1. Ващенко В. А., Канашевич Г. В., Лукашенко В. М., Бондаренко М. А., Яценко І. В. Оптоелектроника и микрооптика – перспективные отрасли науки и техники. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2002. №2. С. 52–62.
2. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы “смотрящего” типа. М.: Логос, 2004. 444 с.
3. Ващенко В. А., Котельников Д. И., Лега Ю. Г., Краснов Д. М., Яценко І. В., Кириченко О. В. Тепловые процессы при электронной обработке оптических материалов и эксплуатации изделий на их основе. К.: Наукова думка, 2006. 368 с.
4. Глущенко А. Р., Гордиенко В. И., Бурак А. В., Денисенко А. Ю. Танковые ночные системы и приборы наблюдения. Черкассы: Фотоприбор, 2007. 441 с.
5. Дудко Г. В., Кулов С. К., Розе Ю. А., Максимова Н. Г. Исследование электронно-лучевых процессов в создании базовых технологий ЭЛЭФП. *Электронная промышленность*. 1991. Вып. 1. С. 41–45.
6. Канашевич Г. В., Ващенко В. А., Бондаренко М. О. Перспективы використання електронного променя в технології інтегральної оптики. *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*. 2000. № 2. С. 189–193.
7. Дубровская Г. Н., Канашевич Г. В., Ващенко В. А., Котельников Д. И., Яценко І. В. Получение функциональных слоев в оптическом стекле и керамике методом электронной обработки. *Международный научно-практический симпозиум “Функциональные покрытия на стеклах”*: Сборник докладов. Харьков: НТЦ ХФТИ “Константа”, 2003. С. 135–137.
8. Ващенко В. А., Яценко І. В., Лега Ю. Г., Кириченко О. В. Основи електронної обробки виробів з оптичних матеріалів: монографія. К.: Наукова думка, 2011. 562 с.
9. Yatsenko I., Antoniuk V., Bondarenko M., Vashchenko V. Influence of parameters by electronic ray on properties of superficial layers of optical elements of exact instrument-making. *International journal for science and innovations for the industry “Inno-*

- vations in discrete productions*”, *YEAR III, ISSUE 1/2015*. Sofia. P. 13–15.
10. Панов В. А., Кругер М. Я., Кулагин В. В. и др. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Л.: Машиностроение, 1980. 742 с.
 11. Окатов М. А. Антонов Э. А., Байгожин А. Б. Справочник оптика-технолога. СПб.: Политехника, 2004. 679 с.
 12. Патент України на корисну модель № 4177C03B29/00, H01J37/305. Пристрій для електронно-променевого полірування виробів / Г. В. Канашевич, Ю. І. Коваленко, М. О. Бондаренко, В. А. Ващенко, В. П. Бойко, М. П. Рудь, І. В. Яценко. Бюл. № 1/2005.
 13. Шиммель Г. Методы электронной микроскопии. М.: Мир, 1972. 300 с.
 14. Горелик С. С., Скачков Ю. А., Расторгуев Л. Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: МИСиС, 1994. 328 с.
 15. Дубровська Г. М., Канашевич Г. В., Божко Н. І. Прилади застосування фізичних методів дослідження структури поверхні. Сільхет: Шобуж Біпоні, Удоун Офсет Принтерс, 2007. 248 с.
- References**
1. Vaschenko, V. A., Kanashevich, G. V., Lukashenko, V. M., Bondarenko, M. A. and Yatsenko, I. V. (2002) Optoelectronics and microoptics are promising branches of science and technology. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, No. 2, pp. 52–62 [in Russian].
 2. Tarasov, V. V. and Yakushenkov, Y. G. (2004) Infrared systems “looking” type. Moscow: Logos, 444 p. [in Russian].
 3. Vaschenko, V. A., Kotelnikov, D. I., Lega, Y. G., Krasnov, D. M., Yatsenko, I. V. and Kiritchenko, O. V. (2006) Thermal processes in the electronic processing of optical materials and the operation of products based on them. Kyiv: Naukova dumka, 368 p. [in Russian].
 4. Gluschenko, A. R., Gordienko, V. I., Burak, A. V. and Denisenko, A. Y. (2007) Tank night systems and surveillance devices. Cherkassy: Fotopribor, 441 p. [in Russian].
 5. Dudko, G. V., Kulov, S. K., Roze, Y. A. and Maksimova, N. G. (1991) Investigation of electron-beam processes in the creation of basic technologies ELEFP. *Elektronnaya promyshlennost*, Issue. 1, pp. 41–45. [in Russian].
 6. Kanashevich, G. V., Vaschenko, V. A. and Bondarenko, M. O. (2000) Prospects of the use of electronic beam in technology of integral optics. *Visnyk Cherkaskogo inzhenerno-tehnologichnogo instytutu*. No. 2, pp. 189–193. [in Ukrainian].
 7. Dubrovskaya, G. N., Kanashevich, G. V., Vaschenko, V. A., Kotelnikov, D. I. and Yatsenko, I. V. (2003) *Obtaining functional layers in optical glass and ceramics using the electronic processing method. International scientific-practical symposium “Functional coatings on glasses”*. Reports. Kharkov: Nauchno-technicheskii centr Kharkovskogo fiziko-technicheskogo instituta “Konstanta”, pp. 135–137. [in Russian].
 8. Vaschenko, V. A., Yatsenko, I. V., Lega, Y. G. and Kiritchenko, O. V. (2011) Fundamentals of Electronic Processing of Optical Materials. Kyiv: Naukova dumka, 562 p. [in Ukrainian].
 9. Yatsenko, I., Antoniuk, V., Bondarenko, M. and Vashchenko, V. (2015) Influence of parameters by electronic ray on properties of superficial layers of optical elements of exact instrument-making. *International journal for science and innovations for the industry “Innovations in discrete productions”*, Year III, Issue 1, pp. 13–15.
 10. Panov, V. A., Kruger, M. Y., Kulagin, V. V. and others. (1980) Handbook of the designer of optical-mechanical devices. Leningrad: Mashinostroyeniye, 742 p. [in Russian].
 11. Okatov, M. A., Antonov, E. A. and Baigozhin, A. B. (2004) Reference book of the optician-technologist. Sankt-Petersburg: Politehnika, 679 p. [in Russian].
 12. Kanashevich, G. V., Kovalenko, Y. I., Bondarenko, M. O., Vaschenko, V. A., Boiko, V. P., Rud, M. P. and Yatsenko, I. V. (2005) Patent of Ukraine № 4177C03B29/00, H01J37/305. Device for electron beam polishing of products. Bul. No. 1 [in Ukrainian].
 13. Shimmel, G. (1972) Electron microscopy methods. Moscow: Mir, 300 p. [in Russian].
 14. Gorelik, S. S., Skachkov, Y. A. and Rastorguev, L. N. (1994) X-ray and electron-optical analysis. Moscow: Moskovskii institut stali i splavov, 328 p. [in Russian].

15. Dobrovska, G. M., Kanashevich, G. V. and Bozhko, N. I. (2007) Devices for the application of physical methods for studying the structure of the surface. Silkhet: Shobuzh Biponi, Udoun Offset Printers, 248 p. [in Ukrainian].

I. V. Yatsenko, *Dr.Tech.Sc.*

V. A. Vaschenko, *Dr.Tech.Sc., professor, Head of the Department of Physics*

V. V. Tsybulin, *lecturer*

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ENHANCING THE STABILITY OF OPTICAL ELEMENTS OF OPTICAL-ELECTRONIC DEVICES TO EXTERNAL THERMAL EFFECTS

The purpose of the work is to prevent the destruction of elements from optical ceramics of devices by improving the properties of the surface layers of the elements and increasing their resistance to external thermo-influences by means of preliminary electron beam processing.

As a result of conducted experimental researches it was established that after preliminary processing of working surfaces of elements from optical ceramics by a moving electronic beam for ranges of changes of its parameters (density of thermal influence $F_n = 10^6 \dots 1,6 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$ and the speed of its movement $V = 10^{-3} \dots 10^{-1} \text{ m/s}$) the microhardness of the surface rises in 1,5 ... 1,7 times; in the surface layers of 40 ... 60 μm thickness, compressive thermosetting voltages are formed in magnitude 25...90 MPa, which lead to the formation of reinforced layers in the thickness up to 210 ... 230 microns. It was obtained that the improvement of the properties of the surface layers of optical elements after their electron beam processing leads to an increase in the stability of the elements to external thermo-influences: the critical values of the external heat fluxes and the time of their actions, which lead to the destruction of the elements, are increased in 2 ... 4 times; while increasing the external pressure from 10^5 Pa to 10^7 Pa reduces the indicated critical values of parameters in 1,3 ... 1,7 times; the value of the maximum allowable thermo-elastic tensions in optical elements processed by an electron beam is increased in 1,8 ... 2,7 times, for the ranges of temperature changes of heating 300 ... 1200 K.

Keywords: optoelectronic instrumentation, optical ceramics, electron beam, microstructure, hardness, thermo-elastic tensions.

Т. С. Черній, аспірант

e-mail: cherniy.taisija@ukr.net

Г. С. Столяренко, д.т.н., професор

e-mail: radikal@ukr.net

К. В. Редька, магістр

e-mail: karampolina1994@gmail.com

О. В. Чиж, магістр

e-mail: olya.chyzh@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИЛУЧЕННЯ ЦИНКУ З КИСНЕВМІСНИХ СПЛУК З ШЛАМУ ВИРОБНИЦТВА ХІМІЧНИХ ВОЛОКОН

У статті представлено метод переробки цинковмісного шламу очистки стічних вод методом вилуговування з отриманням готового продукту у вигляді $Zn(OH)_2$. Розроблено лабораторну установку та проведено серію дослідів для отримання максимального виходу готового продукту із сировини.

Ключові слова: гідроксид цинку, вилуговування, шлам, стічні води, сировина.

Постановка проблеми. В останні роки у зв'язку з утворенням і накопиченням значної кількості промислових відходів і необхідністю вирішення екологічних проблем зростає значення комплексної їх утилізації. Наприклад, лише на металургійних підприємствах України в складованих залізовмісних шламах міститься більше 50 тис. т цинку, ресурси якого щорічно можуть збільшуватися на 13 тис. т при повному освоєнні потужностей металургійних агрегатів. Крім того, в червоних шламах міститься 8,8 тис. т цинку. При цьому загальні ресурси цинку складають близько 74 тис. т. [1].

Накопичення відходів після виробництва синтетичного волокна спричиняє забруднення навколишнього природного середовища, а саме ґрунту, підземних та поверхневих вод, що впливає на захворюваність населення. Підвищення рівня переробки відходів є об'єктивною необхідністю, обов'язковою умовою екологічної безпеки підприємства.

Існуючі потреби України у цинку та його сполуках задовольняються за рахунок імпорту, оскільки потужні родовища цинковмісних руд знаходяться за межами нашої країни. В цих умовах актуальним є розробка економічно доцільних технологій утилізації цинку із багатотонажних цинковмісних відходів різних підприємств.

Важливо зазначити, що загальна вартість обробки металевих шламу варіюється в зале-

жності від використовуваного процесу та місцевих умов. Загалом, технічна придатність, простота установки та економічність є ключовими чинниками при виборі найбільш доцільної обробки неорганічних стоків.

Метою наукової роботи є вдосконалення існуючої технології переробки шламу для отримання цинкового купоросу із цинковмісних шлаків стічних вод, а також дослідження впливу температури, співвідношення об'єму компонентів та часу на масовий вихід продукту.

Опис лабораторної установки

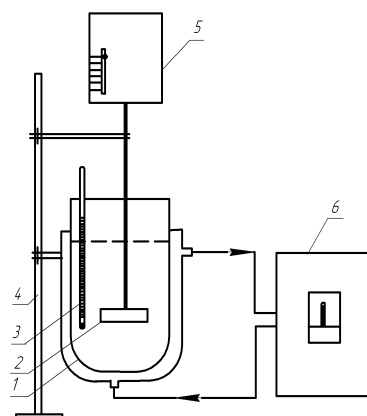


Рис. 1. Установка для вилуговування:

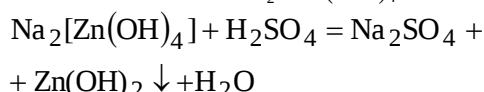
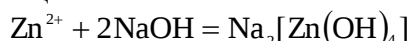
- 1 – реакційна ємність з рубашкою; 2 – мішалка;
3 – термометр; 4 – штатив; 5 – електродвигун
з автоматичним регулюванням кількості обертів
мішалки; 6 – термостат

Вилуговування шламу проводиться у реакторі з рубашкою 1, який обігриває циркулюючою водою з термостату 6.

Суміш у реакторі перемішується мішалкою 2 з електродвигуном 5. Температура суміші вимірюється термометром 3.

Суть методу полягає у переході йонів цинку з твердої фази у рідку за допомогою лужного розчинника активованого реагентами з подальшим осадженням їх у вигляді сульфату цинку [2]. Дослідження проводились методом вилуговування з використанням розчинів NaOH різноманітної концентрації, оскільки цинк, проявляючи амфотерні властивості, переходить у розчин, а катіони Fe, Mg та Ca, а також пісок, глина, кремнієва порода, які теж присутні у шламі, залишаються у твердому залишку. Оптимізація по концентрації NaOH, температурі вилуговування, дозі активних реагентів і часу контакту фаз, що мінімізує ступінь вилучення Al і Si з твердої фази [3,7].

Шлях перетворення визначається за реакціями:



Методика проведення дослідження

Об'єктом дослідження був шлам після виробництва синтетичного волокна, з використанням методів хімічного і спектрального аналізу, що показав наступний склад шламу: 15,49% – цинк (Zn); 0,04% – свинець (Pb); 0,03% – мідь (Cu); 1,72% – залізо (Fe); 1,62% – алюміній (Al); 1,14% – магній (Mg); 10,5% – кальцій (Ca); 0,084% – хлор (Cl); 0,1% – фтор (F); 10% – діоксид кремнію (SiO₂); 6,43% – сірка (S); 2,77% – сульфат сірки; 0,85% – сірка елементарна; 10,5% – вуглець (C); 8,01% – діоксид вуглецю (CO₂).

Для перероблення шламу, як визначили за результатами критичного аналізу літературних даних, можна використовувати такі методи утилізації цинку: кислотні, лужні, екстракційні за допомогою органічних реагентів та методи високотемпературної обробки. У результаті аналізу існуючих методів обрали лужний спосіб перероблення. Такий вибір обумовлений такими чинниками:

– кислотні способи утилізації дозволяють досягти досить високого ступеня вилуговування іону Цинку, є простими в технологічному виконанні. Однак, разом із Цинком під дією кислоти із шламі вилучаються інші

компоненти, такі як Ферум, Кальцій, Магній, Натрій та інші, процес проходить із виділенням сірководню. Це ускладнює вилучення іону Цинку з розчинів та спричинює високу вартість методів кислотної регенерації;

– застосування органічних реагентів забезпечує високу селективність та високий ступінь вилучення Цинку, але вимагає застосування спеціального обладнання, високої культури ведення виробництва. Крім того, ці виробництва належать до категорії пожежо-, вибухо- і токсичнонебезпечних;

– ефективним способом регенерації є прожарювання, однак, якщо в шламі багато сполук кальцію, це спричинює загіпсовування обладнання.

При використанні лужних реагентів ці недоліки відсутні, оскільки Цинк, проявляючи амфотерні властивості, переходить у розчин, а такі речовини, як Ферум, Магній та Кальцій залишаються у твердому залишку. Показник рН шламу 9, отже підвищення до рН=12 є раціональнішим, ніж зниження до рН=4. В якості дешевого лугу можна використовувати каустичну соду.

Однак існують і негативні фактори у цього методу. Наприклад, при кислотному способі основна кількість органічних домішок може бути окислена до CO₂ і H₂O з використанням кислотного меланжу. В лужному способі необхідна додаткова стадія для мінімізації вмісту органічних сполук в цільовому продукті. Крім того, присутній в шламі іон Алюмінію також буде переходити в лужний розчин, і необхідно вивчити вплив на нього зміни рН середовища за стадіями. Априорі, можна констатувати, що швидкість переходу іону Алюмінію в розчин на порядок нижча, ніж у Zn²⁺, а при сірчанокислотному розкладанні натрію цинкату одержуватимемо добре розчинний алюмінію сульфат. Однак залишається проблема співосадження Al³⁺ при кристалізації Zn(OH)₂ [4,5].

Отже, враховуючи вказані чинники, на нашу думку, є доцільним використання лужного методу.

Для вилуговування наважку шламу 10 г поміщали у реактор з рубашкою, який обігривали циркулюючою водою з термостату. Температура води становила 60 °С. У реактор подавали 60 см³ 20 %-го розчину натрію гідроксиду [8]. Тривалість нейтрального вилуговування – 30-40 хв. Кінцева мета нейтрального вилуговування – отримати цинковмісний розчин, очищений від домішок, що гідролізуються.

Осад, що не розчинився, відфільтровували на лійці Бюхнера. Фільтрат переносили у колбу, в яку додавали 20 % сульфатну кислоту [9] до значення рН розчину 8,5-9. Значення рН вимірювали рН-метром. Утворений осад гідроксиду цинку відфільтровували на лійці Бюхнера. Утворений фільтрат аналізували на вміст залишкового цинку комплексометричним методом [6].

1. Вивчення впливу часу на проведення вилюговування

Час вилюговування варіювався в межах 20–70 хв. (табл. 1).

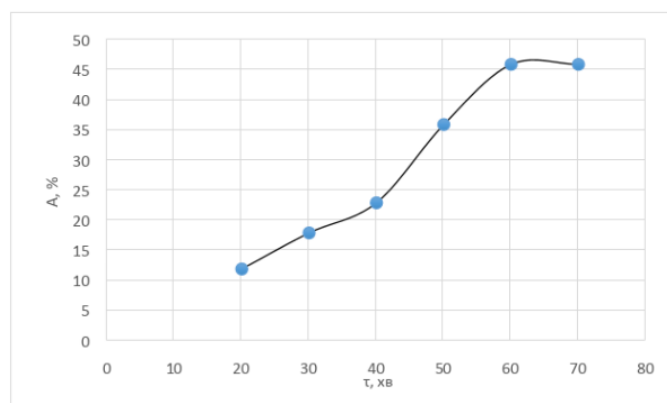
Опрацювання результатів дослідження

Було встановлено оптимальні умови для процесу вилюговування зразку шламу в лабораторних умовах. Досліди проводились на встановлення оптимальної температури проведення вилюговування, часу контакту луку зі шламом, а також об'ємне співвідношення компонентів у реакційній суміші.

Таблиця 1

Вплив тривалості вилюговування на повноту вилучення іонів Zn^{2+}

Час, хв.	20	30	40	50	60	70
Ступінь вилюговування, %	12	18	23	36	45	46

Рис. 2. Вплив часу вилюговування t на ступінь вилюговування шламу A

Як видно з графіка, процес протікає в дві стадії. Перша стадія, яка має високу швидкість, закінчується за 55 хв., друга стадія, повільна, проходить до закінчення процесу. За дослідними даними робимо висновок, що із збільшенням часу вилюговування збільшується повнота вилюговування, і тому є вигідним проведення вилюговування протягом 60 хв.

2. Вплив об'єму луку на ступінь вилюговування йонів цинку

При масовому співвідношенні 1:1 утворюється система, що характеризується достатньо високою в'язкістю, надзвичайно високою стійкістю і дуже поганою здатністю до

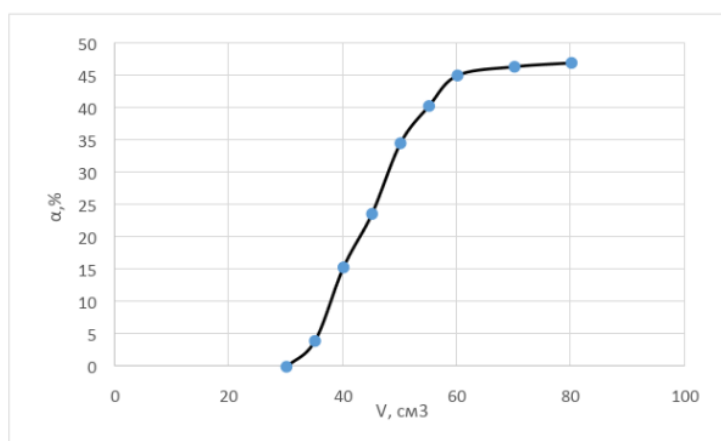
фільтрування внаслідок того, що фільтрувальні поверхні швидко забиваються. При збільшенні співвідношення шламу: розчин луку швидкість вилюговування зростає завдяки надлишку реагенту та зменшенню в'язкості системи, фільтрування проходить значно краще. Результати експерименту наведені у табл. 2.

Аналіз отриманих даних показує, що збільшення кількості NaOH приводить до максимального розкладу цинку гідроксиду за надлишку в 2 рази більше, ніж за стехіометрією. При цьому ступінь вилучення Zn^{2+} становить 46,28 %. Решта, імовірно, залишається у вигляді ZnS в твердому залишку.

Таблиця 2

Залежність ступеня вилугування від об'єму лугу

Об'єм розчину NaOH (20 %)	Маса наважки шламу, г	pH середовища	Ступінь вилугування йонів Zn^{2+} , α , %
30	10	12,55	0
35	10	12,6	4
40	10	12,6	15,4
45	10	12,6	23,7
50	10	12,55	34,65
55	10	12,6	40,42
60	10	12,7	45,15
70	10	12,7	46,5
80	10	12,7	47,1

Рис. 3. Вплив об'єму NaOH 20% V на ступінь вилугування α

3. Вплив температурного режиму на ступінь вилугування

Біля границі розділу фаз існує дифузійний шар рідини через який в результаті молекулярної і конвективної дифузії розчинні речовини проникають в масу розчину, а розчинник – до розчинної твердої поверхні. Підвищення температури в більшості випадків є ефективним засобом прискорення розчинення,

допомагає зниженню в'язкості розчину і, відповідно, зменшенню товщини дифузійного шару і його опору масопередачі. Крім цього, при підвищенні температури зростає розчинність більшості речовин і, відповідно, збільшується рушійна сила розчинення, а тому і швидкість розчинення.

Дані експерименту внесено до таблиці 3.

Таблиця 3

Вплив температури на ступінь вилугування

Температура, °C	20	30	40	50	60	70	80	90
Ступінь вилугування Zn^{2+} , %	7,12	12,08	23	31,17	40,43	44,20	45,12	46,28

За дослідними даними встановлено, що оптимальною є температура 60 – 70°C, оскільки при подальшому збільшенні температури

масовий вміст цинку збільшується незначно (рис. 4).

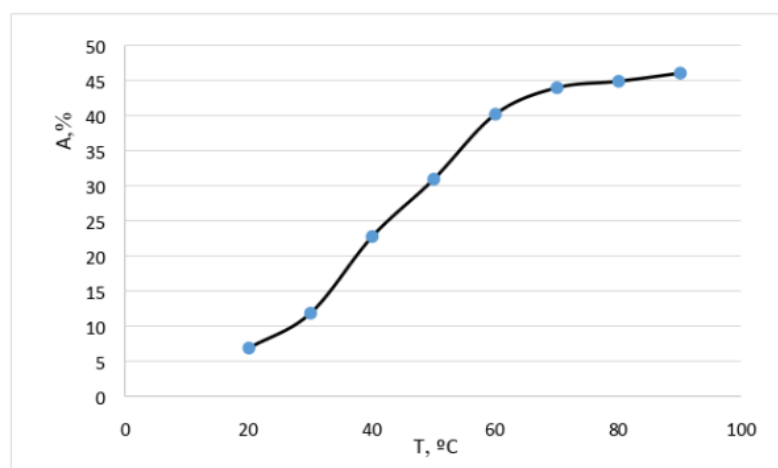


Рис. 4. Вплив температури T на ступінь вилугування йонів цинку A

Висновки. Розглянуто існуючі методи вилучення йонів тяжких металів зі шламу виробництва хімічних волокон.

Максимальний вихід продукту склав 46,28%. Такий вихід був отриманий за наступних умов:

- Температура у реакційній ємності: 60-70 °C;
- Об'єм луку NaOH: 60 см³;
- Наважка цинковмісного шламу: 10 г;
- Вміст Zn²⁺ у шламі: 1,549 г;
- Тривалість процесу вилугування: 60 хв.

Невисокий вихід продукту обумовлюється вмістом сульфідів цинку, з якого йони цинку не переходять у розчин під час вилугування лише NaOH, адже аналітичний аналіз наступної стадії (осадження гідроксиду цинку) довів, що непрореагованого цинку практично немає. Також максимальному отриманню продукту заважають органічні сполуки, присутність яких у шламі досить висока.

Список літератури

1. Barakat M. A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. Review article. *Arabian Journal of Chemistry*, 2010.
2. Щукін Ю. П., Сединкін В. І., Полушкін М. Е., Нефедов С. Н. Виведення з оборота доменних шламов з високим содержанием цинка. *Сталь*, 1999. № 11. С. 13–17.
3. Иванов Н. И., Литвинов В. К., Шутикова В. Ф., Агапитов Е. Б. Высокотемпературные процессы переработки шламов ме-

таллургического производства. *Бюл. НТИ: Черная металлургия*, 1989. № 6. С. 20–28.

4. Пат. №5759 С22В19/34 Спосіб комплексної переробки цинковмісного шламу. Столяренко Г. С., Костигін В. О., Фоміна Н. М., Паранько Н. Г., Атамась Г. М. та ін. Заявник і патентовласник Черкаський держ. техн. ун-т, ВАТ "Черкаське хімволокно". № 20040806823; заявл. 13.08.2004; опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3.
5. Пат. №22213 С22В19/00 Спосіб отримання цинкового купоросу і кальцієвої селітри. Столяренко Г. С.; Костигін В. О.; Атамась Г. М. Заявл. 28.04.2006. Опубл. 25.04.2007.
6. Пат. № 2179194 С22В19/34, С22В7/00 Спосіб получения оксида цинка из техногенного сырья. Казанцев В. П., Кудрявский Ю. П., Анашкин В. С. Заявл. 21.03.2002. Опубл. 10.01.2004.
7. Пат. № 2476611 С22В7/04, С22В15/00, С22В23/00, С22В4/06. Извлечение металлов из отходов, содержащих медь и другие ценные металлы. Рот Жан-Люк, Сольве Кристоф. Заявл. 10.10.2008. Опубл. 27.02.2013.
8. ГОСТ 4328-77 Реактивы. Натрия гидроксид. Технические условия.
9. ГОСТ 4204-77 Реактивы. Кислота серная. Технические условия.

References

1. Barakat, M. A. (2010) New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. Review article. *Arabian Journal of Chemistry*.

2. Shchukin, Y. P., Sedinkin, V. I., Polushkin, M. E., Nefedov, S. N. (1999) Exclusion of blast-furnace slurries with a high content of zinc from the circulation. *Stal*, No 11, pp. 13–17.
3. Ivanov, N. I., Litvinov, V. K., Shutikova, V. F., Agapitov, E. B. (1989) High-temperature processes of slime processing of metallurgical production. *Bul. STI: Ferrous metallurgy*, No. 6, pp. 20–28.
4. Pat. №5759 C22B19 / 34 Method of complex processing of zinc sludge. Stolyarenko G. S., Kostygin V. O., Fomina N. M., Paranko N. G., Atamas G. M. etc. Applicant and patent holder Cherkasy state. tech UN-T, OJSC "Cherkassy Khimvolokno". No. 20040806823; stated. Aug 13, 2004; has published March 15, 2005, Bul. No. 3.
5. Pat. №22213 C22B19 / 00 Method for obtaining zinc sulphate and calcium nitrate. Stolyarenko G.S., Kostygin V.O., Atamas G.M. Declared April 28, 2006 Pubwished April 25, 2007.
6. Pat. No. 2179194 C22B19 / 34, C22B7 / 00 Method for the production of zinc oxide from man-made raw materials. Kazantsev V.P., Kudryavsky Y.P., Anashkin V.S., Declared March 21, 2002 Pubwished 01.10.2004.
7. Pat. No. 2476611 C22B7 / 04, C22B15 / 00, C22B23 / 00, C22B4 / 06. Extraction of metals from wastes containing copper and other precious metals. Mouth Jean-Luc, Solve Christoph. Declared Oct 10, 2008 Published February 27, 2013.
8. GOST 4328-77 Reagents. Sodium Hydroxide. Technical specifications.
9. GOST 4204-77 Reagents. Sulfuric acid. Technical specifications.

T. S. Cherniy, *postgraduate*

e-mail: cherniy.tajaija@ukr.net

G. S. Stolyarenko, *d.t.s., Professor*

e-mail: radikal@ukr.net

K. V. Redka, *Master*

e-mail: karampolina1994@gmail.com

O. V. Chizh, *Master*

e-mail: olya.chyzh@ukr.net

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkassy, 18006, Ukraine

RESEARCHING OF CHEMICAL FIBER PRODUCTION WET PROCESSING TECHNOLOGY

In this article presented the method of processing of zinc-containing sludge from sewage by leaching method with the obtaining of the finished product in the form of $Zn(OH)_2$. There was developed laboratory equipment and conducted series of experiments to obtain the maximum yield of the finished product from raw material.

Keywords: zinc hydroxide, leaching, sludge, waste water, raw materials.

УДК 681.835

Л. Д. Мисник, к.т.н., доцент,
Т. І. Веретільник, к.т.н., професор,
e-mail: vertim@mail.ua

Ю. П. Мамонов, к.т.н., доцент,
Р. Б. Капіган,
О. В. Манзюра

Черкаський державний технологічний університет
бульвар Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ШВЕЙНОГО АПАРАТУ КУЛАЧКОВО-КУЛІСНОГО ТИПУ ДРОТОШВЕЙНОЇ МАШИНИ

Стаття присвячена кінематичному дослідженню швейного апарату кулачково-кулісного типу дртошвейної машини. Розроблено графоаналітичний метод кінематичного аналізу з використанням функції Хевісайда, що дозволяє використовувати його при динамічних дослідженнях. Представлено графіки кінематичних залежностей виконавчих механізмів швейного апарату кулачково-кулісного типу, які дають можливість візуальної оцінки та аналізу роботи машини.

Ключові слова: кінематичне дослідження, кулачково-кулісний механізм, інваріанти кінематичних параметрів, аналог швидкості, швейний апарат (ША).

Постановка проблеми

Вузьким місцем в сучасній поліграфічній галузі досі залишається брошурувально-палітурна ділянка. Сучасне палітурно-брошурувальне обладнання повинно відповідати сучасним вимогам ринку: бути високошвидкісним, точним, економічним (мати меншу металомісткість, використовувати менше електроенергії, тощо). Підвищення швидкості та зменшення маси обладнання вимагають врахування динамічних явищ, що виникають при його роботі. Проблема заключається в тому, що необхідної спеціальної літератури по динамічним розрахункам та проектуванню поліграфічних машин досить мало, а та що є, не повністю відповідає сучасним вимогам до проектування поліграфічного обладнання. Невід'ємною частиною динамічних розрахунків механізмів поліграфічних машин є їх кінематичний аналіз.

Серед механізмів швейних апаратів, що застосовуються для скобоформування та скобопроставування, особливе місце займають механізми кулачково-кулісного типу, які забезпечують періодичний поворот вихідної ланки з умовою вистою вихідної ланки без розриву кінематичного ланцюга.

Отже, кінематичний та динамічний розрахунок механізму швейного апарату дртошвейної машини є задачею актуальною.

Аналіз останніх досліджень

Питанням кінематичного та динамічного дослідження поліграфічних машин присвя-

чено ряд робіт [1-6]. В них висвітлено питання синтезу та результати аналітичних і експериментальних досліджень циклових механізмів друкарських та палітурно-брошурувальних машин. В роботах [3-4] розглянуто кінематичне та динамічне дослідження швейного апарату важільного типу. Представлено залежності для визначення швидкостей виконавчих органів вказаного швейного апарату, розроблено математичну модель для динамічного дослідження.

Разом з тим, майже не приділяється увага кулачково-кулісним механізмам, які, як показала практика використання дртошвейних машин, є більш простими та надійними.

За результатами проведеного аналізу було поставлено задачі, що потребують вирішення:

- вивчення кінематичної схеми швейного апарату ДШМ;
- визначення основних параметрів кулачково-кулісного механізму ША ДШМ;
- кінематичний аналіз ША кулачково-кулісного типу ДШМ.

Метою даної роботи є розвиток графоаналітичних методів кінематичного аналізу, а також визначення залежностей між кінематичними параметрами кулачково-кулісного механізму.

Виклад основного матеріалу

На сьогоднішній день існують дртошвейні машини з швейними апаратами декіль-

кох типів: важільного, кулачково-кулісного, зубчастого.

Швейні апарати кулачково-кулісного типу широко розповсюджені і використовуються на різних дротошвейних машинах як вітчизняного так і закордонного виробництва. Зокрема, така конструкція ША використовується на дротошвейній машині 4БПШ-30, що випускається Київським заводом поліграфічних машин.

Привод найбільш відповідальних елементів швейного апарату машини 4БПШ-30 – скобоформувача та скобопроштовхувача здійснюється кулачково-кулісним механізмом. Кінематична схема даного ША представлена на рис. 1 [7–8]. Скобоформувач 1 (рис. 1) рухається поступально від кулачка 2 за допомогою двох роликів 3 та 4, що закріплені зверху і знизу: ролик 3 опускає планку, ролик 4 – піднімає її. Скобопроштовхувач 5 приводиться в дію кривошипом 6 на головному валу, ролик якого входить у фігурний шліц 7. Для зменшення швидкості руху скобопроштовхувача в кінці проштовхування скоби, частина шліца 7 виконана криволінійною.

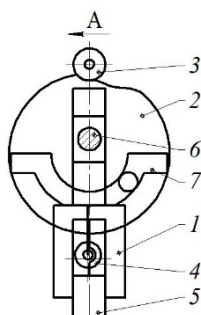


Рис. 1. Схема приводу скобопроштовхувача

Виходячи з циклограми роботи механізму можна виділити наступні фази роботи приводу скобоформувача:

1) опускання скобоформувача від свого верхнього положення. В цей момент проходить формування скоби і переміщення скоби до стопи ($\varphi_{\text{в}}$);

2) вистій скобоформувача у своєму нижньому положенні при проштовхуванні скоби в стопу ($\varphi_{\text{дв}}$);

3) повернення скобоформувача у вихідне положення ($\varphi_{\text{п}}$);

4) вистій скобоформувача у верхньому положенні для подачі дроту в швейний апарат ($\varphi_{\text{бв}}$).

Фазові кути вибираються в залежності від циклограми роботи машини і узгоджують-

ся з рухами інших механізмів машини (подавач дроту, скобопроштовхувач, згиначів ніжок, тощо).

Прискорення, швидкість і переміщення скобоформувача на ділянках $\varphi_{\text{дв}}$ та $\varphi_{\text{бв}}$ дорівнює нулю, що відповідає циклограмі роботи.

На ділянках $\varphi_{\text{в}}$ та $\varphi_{\text{п}}$, як правило, задають необхідний закон руху, тобто обирають закон зміни прискорення веденої ланки (скобоформувача) на даних фазах. Такими законами можуть бути: синусоїдальний; косинусоїдальний; поліноміальний; полідинамічний; лінійно-спадаючий, тощо.

Для дослідження та якісної оцінки законів періодичного руху використовуємо позиційні інваріанти [6]: позиційна інваріанта переміщення вхідної ланки S ; позиційна інваріанта швидкості v ; позиційна інваріанта прискорення w .

$S = a_k \cdot [S]$; $v = b_k \cdot (S/T)$; $w = c_k \cdot (S/T^2)$, де S – максимальне переміщення скобоформувача; T – період опускання або піднімання скобоформувача; a_k, b_k, c_k – відповідні інваріанти.

Розглянемо кінематичні залежності руху скобоформувача для різних законів періодичного руху:

синусоїдальний

$$a_k = k - \frac{1}{2\pi} \sin(2 \cdot \pi \cdot k);$$

$$b_k = 1 - \cos(2 \cdot \pi \cdot k);$$

$$c_k = 2 \cdot \pi \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot k).$$

косинусоїдальний

$$a_k = 0,5 \cdot (1 - \cos(\pi \cdot k));$$

$$b_k = 0,5 - \pi \cdot \sin(\pi \cdot k);$$

$$c_k = 0,5 \cdot \pi^2 \cdot \cos(\pi \cdot k).$$

Дані залежності дозволяють досліджувати кінематичні залежності приводу скобоформувача. Наприклад, для синусоїдального закону руху, графіки a_k, b_k, c_k представлено на рис. 2.

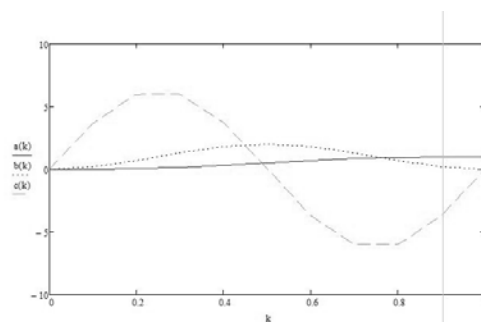
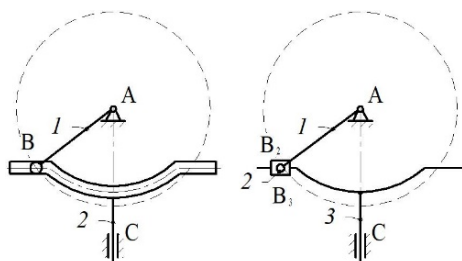


Рис. 2. Графіки інваріантів a_k, b_k, c_k для синусоїдального закону руху

Розглянемо *привод прошивувача*, що складається з кулісного механізму представленого на рис. 3.

Для дослідження даного механізму будемо замінюючи схему (рис. 3), де виконуємо заміну вищих кінематичних пар на нижчі та отримуємо замінюючий механізм другого класу з криволінійною направляючою для повзуна 2. При цьому ступінь вільності обох механізмів дорівнює 1.



$$W = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 1 = 1 \quad W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

Рис. 3. а) кінематична схема приводу скобопрошивувача; б) розрахункова схема приводу скобопрошивувача

Вихідними даними для дослідження механізму є довжина кривошипу l , кут «розмаху» криволінійної частини направляючої повзуна α , а також маси та моменти інерції ланок.

Даний механізм являє собою частинний випадок синусного механізму із криволінійною ділянкою траєкторії руху каменю 2. Тому доцільно розглянути його поділивши траєкторію руху на окремі ділянки.

Для визначення швидкостей на даних ділянках побудуємо плани аналогів швидкостей та визначимо дійсні швидкості необхідних точок і ланок.

Для побудови плану швидкостей використовуємо схему представлену на рис. 4 та записуємо систему рівнянь для визначення швидкостей у векторній формі:

$$\begin{cases} \vec{v}_{B_3} = \vec{v}_{B_2A} + \vec{v}_{B_3B_2} \\ \vec{v}_{B_3} = \vec{v}_C \end{cases},$$

де $\vec{v}_{B_2A}$ – швидкість точки B_2 відносно точки A ; $\vec{v}_{B_3B_2}$ – швидкість точки B_3 відносно точки B_2 ; $\vec{v}_C$ – швидкість точки C .

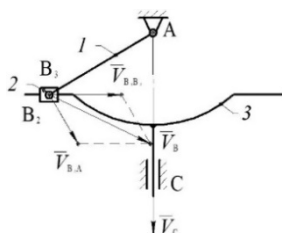


Рис. 4. Схема визначення швидкостей

Досліджуємо рух на кожній ділянці.

Ділянка 1. Перша ділянка (рис. 5) характеризується рухом кривошипа від початкового (верхнього) свого положення на кут від 0 до $\frac{\alpha}{2}$. При цьому ланка 1 здійснює обертальний рух, ланка 2 рухається вздовж криволінійної траєкторії, що описується дугою радіуса l , а ланка 3 рухається поступально по осі ординат (рис. 5).

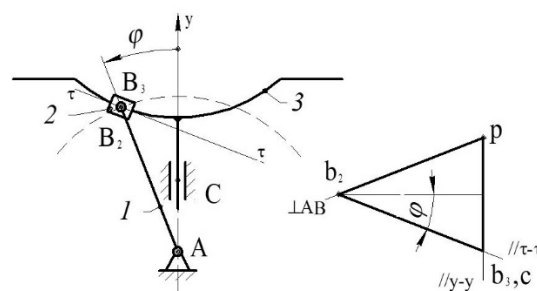


Рис. 5. Розрахункова схема та план аналогів швидкостей для розрахункової ділянки 1

Від полюса p відкладаємо промінь перпендикулярно до положення кривошипу, довжиною l , що відповідає $\vec{v}_{B_2A}$. Отримуємо точку b_2 . З точки b_2 проводимо промінь, що є дотичним до криволінійної поверхні направляючої, що відповідає $\vec{v}_{B_3B_2}$. З полюса p відкладаємо вертикальний промінь, що відповідає $\vec{v}_C$. Перетин двох останніх променів дає точку c та b_3 .

З отриманого трикутника знайдемо аналогі швидкостей:

$b_3b_2 = l$ – аналог відносної швидкості точки B_3 відносно точки B_2 ;

$pb_3 = pc = 2 \cdot l \cdot \sin \varphi$ – аналог лінійної швидкості точок B_3 та C .

Дійсні швидкості відповідних точок та ланок визначаємо помноживши отримані аналогі швидкостей на кутову швидкість ланки 1:

$$v_2 = b_3b_2 \cdot \dot{\varphi} = l \cdot \dot{\varphi};$$

$$v_3 = pb_3 \cdot \dot{\varphi} = pc \cdot \dot{\varphi} = 2 \cdot l \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi};$$

$$w_2 = \frac{b_3b_2}{l} \cdot \dot{\varphi} = \dot{\varphi}.$$

де $\dot{\varphi}$ – кутова швидкість кривошипа 1.

Аналогічно визначаємо швидкості і на інших ділянках.

Ділянка 2. Друга ділянка (рис. 6) характеризується рухом кривошипа від кута $\frac{\alpha}{2}$ до 90° . На даній ділянці механізм працює як звичайний синусний механізм. Побудувавши аналогічно першій ділянці план аналогів швидкостей, визначаємо:

$b_3b_2 = l \cdot \cos\varphi$ – аналог відносної швидкості точки B_3 відносно точки B_2 ;

$pb_3 = pc = l \cdot \sin\varphi$ – аналог лінійної швидкості точок B_3 та C .

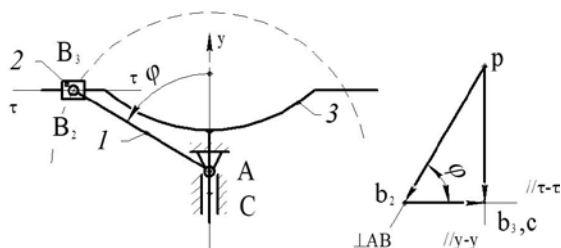


Рис. 6. Розрахункова схема та план аналогів швидкостей для розрахункової ділянки 2

Дійсні швидкості відповідних точок та ланок визначаємо помноживши отримані аналоги швидкостей на кутову швидкість ланки 1:

$$v_2 = b_3b_2 \cdot \dot{\varphi} = l \cdot \cos\varphi \cdot \dot{\varphi};$$

$$v_3 = pb_3 \cdot \dot{\varphi} = pc \cdot \dot{\varphi} = l \cdot \sin\varphi \cdot \dot{\varphi};$$

$$w_2 = \frac{b_3b_2}{l} \cdot \dot{\varphi} = \cos\varphi \cdot \dot{\varphi}.$$

Ділянка 3. Дана ділянка (рис. 7) характеризується рухом кривошипа від кута 90° до кута $180^\circ - \frac{\alpha}{2}$. На даній ділянці механізм також працює як звичайний синусний механізм, тому побудувавши план аналогів швидкостей визначаємо:

$b_3b_2 = l \cdot \sin(\varphi - 90^\circ) = -l \cdot \cos\varphi$ – аналог відносної швидкості точки B_3 відносно точки B_2 ;

$pb_3 = pc = l \cdot \cos(\varphi - 90^\circ) = l \cdot \sin\varphi$ – аналог лінійної швидкості точок B_3 та C .

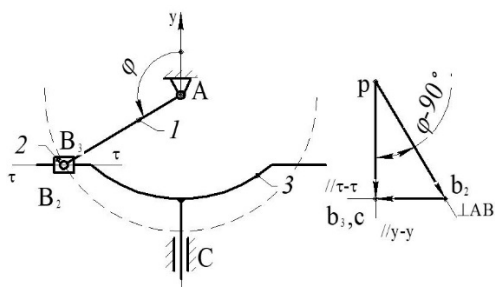


Рис. 7. Розрахункова схема та план аналогів швидкостей для розрахункової ділянки 3

Дійсні швидкості відповідних точок та ланок визначаємо помноживши отримані аналоги швидкостей на кутову швидкість ланки 1:

$$v_2 = b_3b_2 \cdot \dot{\varphi} = -l \cdot \cos\varphi \cdot \dot{\varphi};$$

$$v_3 = pb_3 \cdot \dot{\varphi} = pc \cdot \dot{\varphi} = l \cdot \sin\varphi \cdot \dot{\varphi};$$

$$w_2 = \frac{b_3b_2}{l} \cdot \dot{\varphi} = -\cos\varphi \cdot \dot{\varphi}.$$

Ділянка 4. На даній ділянці (рис. 8) кривошип рухається від кута $180^\circ - \frac{\alpha}{2}$ до кута

$180^\circ + \frac{\alpha}{2}$. При цьому повзун 2 рухається по дузі радіуса l , спостерігається заданий вистій ланки 3.

Побудувавши план аналогів швидкостей визначаємо:

$b_3b_2 = l$ – аналог відносної швидкості точки B_3 відносно точки B_2 ;

$pb_3 = pc = 0$ – аналог лінійної швидкості точок B_3 та C .

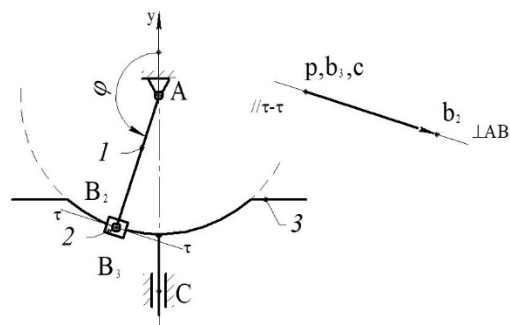


Рис. 8. Розрахункова схема та план аналогів швидкостей для розрахункової ділянки 4

Дійсні швидкості відповідних точок та ланок визначаємо помноживши отримані аналоги швидкостей на кутову швидкість ланки 1:

$$v_2 = b_3b_2 \cdot \dot{\varphi} = l \cdot \dot{\varphi};$$

$$v_3 = pb_3 \cdot \dot{\varphi} = pc \cdot \dot{\varphi} = 0;$$

$$w_2 = \frac{b_3b_2}{l} \cdot \dot{\varphi} = \dot{\varphi}.$$

Ділянка 5. Дана ділянка (рис. 9) відповідає зворотному руху ланки 3, коли кривошип 1 рухається від кута $180^\circ + \frac{\alpha}{2}$ до кута 270° . На даній ділянці механізм працює як звичайний синусний механізм, тому побудувавши план аналогів швидкостей визначаємо:

$b_3b_2 = l \cdot \cos(\varphi - 180^\circ) = -l \cdot \cos\varphi$ – аналог відносної швидкості точки B_3 відносно точки B_2 ;

$pb_3 = pc = l \cdot \sin(\varphi - 180^\circ) = -l \cdot \sin\varphi$ – аналог лінійної швидкості точок B_3 та C .

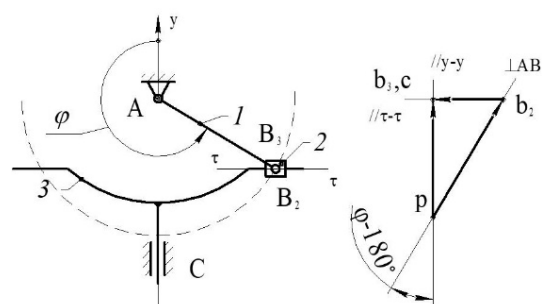


Рис. 9. Розрахункова схема та план аналогів швидкостей для розрахункової ділянки 5

Дійсні швидкості відповідних точок та ланок визначаємо помноживши отримані аналоги швидкостей на кутову швидкість ланки 1:

$$\begin{aligned}v_2 &= b_3 b_2 \cdot \dot{\varphi} = -l \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi}; \\v_3 &= p b_3 \cdot \dot{\varphi} = p c \cdot \dot{\varphi} = -l \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi}; \\w_2 &= \frac{b_3 b_2}{l} \cdot \dot{\varphi} = \cos \varphi \cdot \dot{\varphi}.\end{aligned}$$

Ділянка 6. Дана ділянка (рис. 10) відповідає зворотному руху ланки 3, коли кривошип 1 рухається від кута 270° до кута $360^\circ - \frac{\alpha}{2}$. На даній ділянці механізм працює як звичайний синусний механізм, тому побудувавши план аналогів швидкостей визначаємо:

$b_3 b_2 = l \cdot \sin(\varphi - 270^\circ) = l \cdot \cos \varphi$ – аналог відносної швидкості точки B_3 відносно точки B_2 ;

$p b_3 = p c = l \cdot \cos(\varphi - 270^\circ) = -l \cdot \sin \varphi$ – аналог лінійної швидкості точок B_3 та C .

Дійсні швидкості відповідних точок та ланок визначаємо помноживши отримані аналоги швидкостей на кутову швидкість ланки 1:

$$\begin{aligned}v_2 &= b_3 b_2 \cdot \dot{\varphi} = l \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi}; \\v_3 &= p b_3 \cdot \dot{\varphi} = p c \cdot \dot{\varphi} = -l \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi}; \\w_2 &= \frac{b_3 b_2}{l} \cdot \dot{\varphi} = \cos \varphi \cdot \dot{\varphi}.\end{aligned}$$

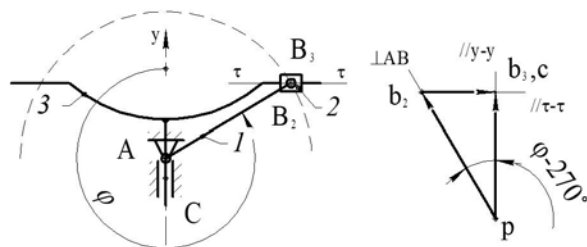


Рис. 10. Розрахункова схема та план швидкостей для розрахункової ділянки 6

Ділянка 7. Дана ділянка (рис. 11) характеризується поверненням кривошипа у вихідне положення, коли він рухається від кута $360^\circ - \frac{\alpha}{2}$ до кута 360° . На даній ділянці аналоги швидкостей визначаються за формулами:

$b_3 b_2 = l$ – аналог відносної швидкості точки B_3 відносно точки B_2 ;

$p b_3 = p c = 2 \cdot l \cdot \sin(360^\circ - \varphi) = -2 \cdot l \cdot \sin \varphi$ – аналог лінійної швидкості точок B_3 та C .

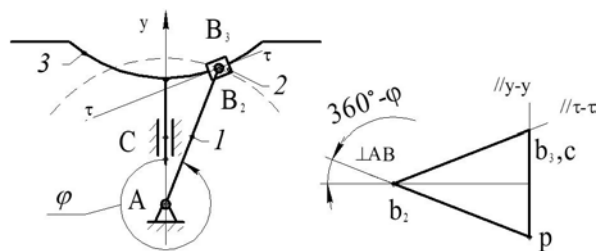


Рис. 11. Розрахункова схема та план аналогів швидкостей для розрахункової ділянки 7

Дійсні швидкості відповідних точок та ланок визначаємо помноживши отримані аналоги швидкостей на кутову швидкість ланки 1:

$$\begin{aligned}v_2 &= b_3 b_2 \cdot \dot{\varphi} = l \cdot \dot{\varphi}; \\v_3 &= p b_3 \cdot \dot{\varphi} = p c \cdot \dot{\varphi} = -2 \cdot l \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi}; \\w_2 &= \frac{b_3 b_2}{l} \cdot \dot{\varphi} = \dot{\varphi}.\end{aligned}$$

Для визначення швидкостей v_2 , v_3 на повному циклі роботи скобопроштовхувача запишемо рівняння, використовуючи функцію Хевісайда:

$$\begin{aligned}v_2 &= l \cdot \dot{\varphi} \cdot H(\varphi - 0) - l \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \frac{\alpha}{2}\right) + l \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \frac{\alpha}{2}\right) - l \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) + l \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \left(\pi - \frac{\alpha}{2}\right)\right) + l \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \left(\pi - \frac{\alpha}{2}\right)\right) - l \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \left(\pi + \frac{\alpha}{2}\right)\right) - l \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \left(\pi + \frac{\alpha}{2}\right)\right) + l \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \frac{4\pi}{3}\right) + l \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \frac{4\pi}{3}\right) - l \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \left(2\pi - \frac{\alpha}{2}\right)\right) + l \cdot \dot{\varphi} \cdot H\left(\varphi - \left(2\pi - \frac{\alpha}{2}\right)\right) - l \cdot \dot{\varphi} \cdot H(\varphi - 2\pi); \\v_3 &= 2 \cdot l \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi \cdot H(\varphi - 0) - 2 \cdot l \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi \cdot H\left(\varphi - \frac{\alpha}{2}\right) + l \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi \cdot H\left(\varphi - \frac{\alpha}{2}\right) - l \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi \cdot H\left(\varphi - \left(\pi - \frac{\alpha}{2}\right)\right) - l \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi \cdot H\left(\varphi - \left(\pi + \frac{\alpha}{2}\right)\right) + l \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi \cdot H\left(\varphi - \left(2\pi - \frac{\alpha}{2}\right)\right) - 2 \cdot l \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi \cdot H\left(\varphi - \left(2\pi - \frac{\alpha}{2}\right)\right) + 2 \cdot l \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin \varphi \cdot H(\varphi - 2\pi).\end{aligned}$$

При заданих початкових параметрах, використовуючи програму Mathcad, будемо

графік швидкості скобопроштовхувача v_3 (рис. 12).

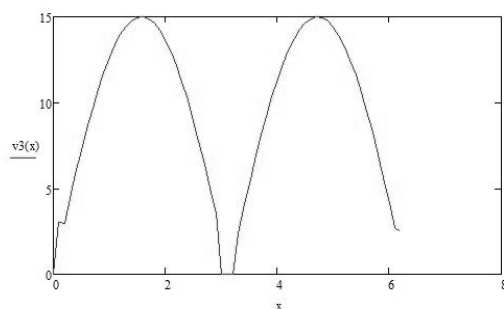


Рис. 12. Графік швидкості скобопроштовхувача v_3

Висновок

Розроблено графоаналітичний метод кінематичного дослідження кулачково-кулісних механізмів з використанням функції Хевісайда. Проведено кінематичне дослідження швейного апарату кулачково-кулісного типу та визначено швидкості основних його елементів. Отримано графіки кінематичних залежностей, які показують стрибкоподібну зміну швидкостей виконавчих механізмів швейного апарату. Наведені результати можуть бути використані при динамічних дослідженнях швейних апаратів кулачково-кулісного типу.

Список літератури

1. Петров В. А., Юрухин Б. Н. Исследование нелинейной динамики кулачково-рычажных механизмов полиграфических машин. *Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела*. 2000. № 3-4. С. 68–79.
2. Юрухин Б. Н., Перов В. А., Булатников Б. В. Методика динамического расчёта кулачково-рычажных механизмов операционных полиграфических машин с учётом упругих свойств звеньев и привода *Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела*. 2005. № 1. С. 40–47.
3. Мамонов Ю. П. Результаты дослідження динаміки дрогошвейного апарату із електро-механічним приводом: препр. / НАН України. Ін-т електродинаміки. Київ, 2002.
4. Мамонов Ю. П. Математична модель дрогошвейного апарату з електромехані-

чним приводом: препр. / НАН України. Ін-т електродинаміки. Київ, 2002.

5. Хведчин Ю. Й., Книш О. Б., Коломієць А. Б. Брошурувально-палітурне устаткування. Розрахунки виконавчих механізмів: навч. посіб. Львів, УАД, 2010. 125 с.
6. Тир К. В. Механика полиграфических машин автоматов. М.: Книга. 1965. 495 с.
7. Пергамент Д. А. Брошнуровочно-переплетное оборудование: учебник. М.: МПИ, 1990.
8. Хведчин Ю. Й. Брошурувально-палітурне устаткування. Ч.І. Брошурувальне устаткування: підручник. Львів: ТеРус, 1999. 336 с.
9. Полудов А. Н. Механика полиграфических автоматов: учеб. пособ. К.: УМК ВО, 1991.
10. Хведчин Ю. Й. Розрахунок механізмів брошурувально-палітурного устаткування: навч. посіб. Львів: УАД, 1999.

References

1. Petrov, V. A., Yurukhin, B. N. (2000) Issledovaniye nelineynoy dinamiki kulachkovorychazhnykh mekhanizmov poligraficheskikh mashin. *Izvestiya vuzov. Problemy poligrafii i izdatelskogo dela*. № 3-4. s. 68–79.
2. Yurukhin, B. N., Perov, V. A., Bulatnikov, B. V. (2005) Metodika dinamicheskogo rascheta kulachkovorychazhnykh mekhanizmov operatsionnykh poligraficheskikh mashin s uchetom uprugikh svoystv zvenyev i privoda *Izvestiya vuzov. Problemy poligrafii i izdatelskogo dela*. № 1. s. 40–47.
3. Mamonov Yu. P. (2002) Rezultaty doslidzhennia dynamiky drotoshveinoho aparatu iz elektro-mekhanichnym pryvodom. Prepr. / NAN Ukrainy. In-t elektrodynamiky. Kyiv.
4. Mamonov Yu. P. (2002) Matematychna model drotoshveinoho aparatu z elektromekhanichnym pryvodom. Prepr. / NAN Ukrainy. In-t elektrodynamiky. Kyiv.
5. Khvedchyn, Yu. I., Khvedchyn, Yu. I., Knysh, O. B., Kolomiets, A. B. (2010) Broshuruvalno-paliturne ustatkuvannia. Rozrakhunky vykonavchykh mekhanizmiv: navchalnyi posibnyk. L.: UAD. 125 s.
6. Tir, K. V. (1965) Mekhanika poligraficheskikh mashin avtomatov. M.: Kniga. 495 s.

7. Pergament, D. A. (1990) Broshyurovochno-perepletnoye oborudovaniye: Uchebnik. M.: MPI.
8. Khvedchyn, Yu. I. (1999) Broshuruvalno-paliturne ustatkuvannia. Ch.I. Broshuruvalne ustatkuvannia. Pidruchnyk. Lviv: TeRus. 336 s.
9. Polyudov, A. N. (1991) Mekhanika poligraficheskikh avtomatov: Uchebnoye posobiye. K.: UMK VO.
10. Khvedchyn, Yu. Y. (1999) Rozrakhunok mekhanizmiv broshuruvalno-paliturnoho ustatkuvannia: Uchebnoe posobye. Lvov: UAD.

L. D. Mysnyk, *Ph.D., associate professor*,
T. I. Veretil'nyk, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: vertim@mail.ua,
Y. P. Mamonov, *Ph.D., associate professor*,
R. B. Kapitan,
O. V. Manziura
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

KINEMATIC ANALYSIS OF THE CAM-TYPE SEWING MECHANISM OF WIRE CUTTING MACHINE

The article is devoted to the kinematic study sewing of a cam type mechanism of a wire-cutting machine. The graph-analytical method of kinematic analysis of this mechanism using the Hevizide function is developed, which allows it to be used in a dynamic study. The graphs of the kinematic dependencies of the working mechanisms of the sewing machine of the cam type are obtained, which provide an opportunity for visual assessment and analysis of these dependencies.

Keywords: kinematic research, cam-type mechanism, invariants of kinematic parameters, speed analogue, sewing mechanism (SM).

А. С. Дуднік¹, к.т.н., доцент,

доцент кафедри мережевих та інтернет технологій

В. П. Квасніков², д.т.н., професор,

завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

¹Київський національний університет ім. Т. Шевченка

вул. Ванди Василевської, 24, Київ, 03056, Україна

²Національний авіаційний університет

пр. Космонавта Комарова 1, м. Київ-58, 03058, Україна

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ТА ОЦІНКА ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ

В даній статті досліджується задача визначення відстані між прийомопередавачами хаотичних радіоімпульсів. розрахунок відстані виробляється за часом поширення сигналу в ефірі. Оцінюється точність визначення між прийомопередавачами на основі часу проходження сигналу, з урахуванням перешкод.

Ключові слова: прийомопередавач, сенсор, радіоімпульс, час, відстань, похибка вимірювання.

Актуальність. Зараз існують різні технологічні рішення для визначення положення об'єктів в просторі або на поверхні землі. Це пов'язано з тим, що неможливо реалізувати один універсальний спосіб, що підходить для всіх можливих випадків. Точніше кажучи, неможливо зробити пристрій, технічні характеристики якого відповідали б вимогам всіх (або навіть більшості) задач.

Аналіз останніх джерел. Існують технології позиціонування, такі як GPS, про які йдеться у роботі Sichitiu M. [1], Galileo, якому присвячена робота Федерації американських науковців [2], Глонасс, про яку йдеться у спільній роботі іспанських вчених про моніторинг навколишнього середовища [3], застосовують Wi-Fi [4] або ультракороткі імпульси, про що йдеться у відповідному стандарті Інститут інженерів електротехніки та електроніки, або технології позиціонування стільникових телефонів GSM, якому присвячена робота He T. [5] і т.д. У всіх цих технологій існують свої плюси і мінуси. Galileo, ГЛО-НАСС, GPS наприклад, дозволяють орієнтуватися на поверхні землі, маючи при собі компактний пристрій з набором карт місцевості. Це дуже корисні технології для переміщення на відкритій місцевості. Точність положення таких пристроїв зараз досягає одиниць метрів. Однак вона може погіршитися в великих містах, в умовах складного рельєфу місцевості або просто в закритому приміщенні. В останньому випадку застосування супутникового позиціонування неприйнятне.

Метою даної статті є опис моделі визначення часу прийняття сигналу з метою визначення відстані між сенсорними прийомопередавачами хаотичних радіоімпульсів, а також оцінка похибки вимірювань.

Розрахунок відстані здійснюється відносно часу поширення сигналу в ефірі, а також обов'язково оцінюється точність визначення відстані.

Постановка задачі. Задача позиціонування викликає великий інтерес у розробників і виробників обладнання, що може свідчити про її попит. Причому більшість рішень використовують в якості носія інформації радіосигнал. Отже, універсальні пристрої, що дозволяють одночасно передавати і приймати дані, а також визначати своє положення в просторі, матимуть споживчу цінність. Один зі стандартів, що регламентує роботу безпроводних радіопередавальних пристроїв з функцією позиціонування – IEEE 802.15.4.

Загальний підхід до визначення місця розташування об'єкта заснований на вимірюванні характеристик радіосигналу, який випромінюється передавачем, розташованим на об'єкті, і приймається стаціонарними приймачами з відомими координатами [6]. За цими характеристиками оцінюється відстань між передавачем і кожним з приймачів. Потім з урахуванням геометричних принципів визначаються координати об'єкта.

В якості характеристик сигналу можуть бути використані наступні величини:

- час поширення сигналу від передавача до приймача;
- різниця показників часу поширення сигналів від передавача до різних приймачів;
- інтенсивність сигналу;
- напрямок приходу сигналу.

Опис моделі визначення відстані

Для визначення відстані між двома об'єктами може бути використано також час поширення сигналу від першого об'єкта до другого плюс час поширення сигналу в зворотному напрямку.

Розглянемо задачу визначення відстані між передавачем і приймачем за допомогою хаотичних радіоімпульсів.

Будемо вважати, що є 2 пристрої: зондуючий (А) і зондований (Б). Обидва пристрої включають в себе приймач, передавач і цифрову частину. Передавач в А випромінює імпульс або серію імпульсів, а приймач в Б, відповідно, приймає імпульс або серію імпульсів. Через фіксовану тимчасову затримку передавач в Б випромінює одиночний імпульс або пачку імпульсів, а приймач в А їх приймає. Інтервал часу Δt між моментом випромінювання імпульсу передавачем в А і моментом його приходу в приймач в А, за вирахуванням затримки τ в пристрої Б, поділений навпіл і помножений на швидкість світла c , визначає відстань l між передавачем і приймачем:

$$l = \frac{\Delta t - \tau}{2} c. \quad (1)$$

Момент приходу хаотичного радіоімпульсу будемо оцінювати, використовуючи приймач, який виділяє огинаючу хаотичного радіоімпульсу. Приймач являє собою послідовно з'єднані квадратичний детектор і фільтр нижніх частот. Після **фільтра** нижніх частот розташовується граничний пристрій, що фіксує момент часу, коли сигнал, відповідний імпульсу, починає перевищувати деяке порогове значення (рис. 1). Цей момент часу приймаємо за момент приходу хаотичного радіоімпульсу.

Оцінка похибки вимірювання часу з метою визначення відстані між об'єктами, з урахуванням перешкод

Оцінимо похибку у визначенні моменту часу приходу переднього фронту імпульсу, викликану тепловим шумом, а також ефектом неоднорідності розподілу енергії в часі протягом усього імпульсу. Скористаємося прикладом з [7] (див. рис. 1). В даному випадку, оскільки використовується огинаюча

радіоімпульсу на виході приймача, то немає значення, який несучий сигнал мав радіоімпульс, а важлива тільки рівномірність розподілу енергії в часі, відповідно тривалості всього імпульсу [8]. На малюнку суцільною лінією зображена огинаюча незашумленого імпульсу, пунктирною – імпульсу з шумом. Горизонтальною пунктирною лінією вказано поріг компаратора.

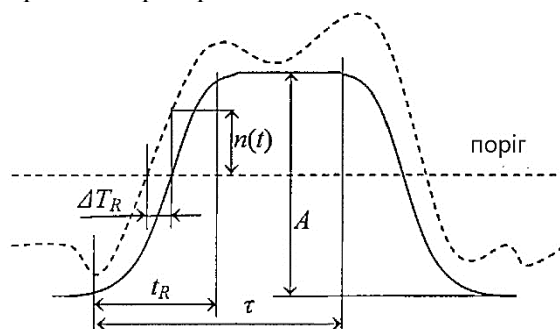


Рис. 1. Визначення часу приходу імпульсу по передньому фронту

Нехай $n(t)$ – зміщення імпульсу через шум за амплітудою, A – амплітуда прийнятого незашумленого імпульсу, ΔT_R – похибка вимірювання часу приходу імпульсу, t_R – тривалість переднього фронту імпульсу, τ – тривалість імпульсу при передачі. Тоді швидкість росту переднього фронту імпульсів [9] в незашумленому S_1 і зашумленому S_2 випадках буде відповідно [10]:

$$S_1 = \frac{A}{t_R} \quad (2)$$

$$S_2 = \frac{n(t)}{\Delta T_R} \quad (3)$$

При великих амплітудах імпульсів ці швидкості росту повинні бути рівні. Тобто $S_1 = S_2$. Тоді з (2) і (3)

$$\Delta T_R = \frac{n(t)}{A/t_R}, \text{ або } \sqrt{(\Delta T_R)^2} = \delta T_R = \frac{t_R}{\sqrt{\frac{A^2}{n^2}}} = \frac{t_R}{\sqrt{\frac{2P}{N}}} \quad (4)$$

де $\frac{A^2}{n^2}$ відношення сигнал/шум для продетектованого відеоімпульсу. Тут P – потужність сигналу, N – потужність шуму в смузі фільтру низьких частот (ФНЧ). Якщо B – смуга ФНЧ то

$$t_R = \frac{1}{B}$$

Нехай

$$S = \frac{E}{\tau},$$

$N=N_0B$, де E – енергія імпульсу, що приймається, N_0 – спектральна густина потужності шуму. Тоді

$$\delta T_R = \frac{\tau}{\sqrt{2B \frac{E}{N_0}}}$$

Таким чином, якщо, наприклад, полоса $B=5 \times 10^7$ Гц, $\tau = 10^{-7}$ с, $\frac{E}{N_0} = 20 \text{ дБ} = 100$, [11] то $\delta T_R \approx 3$ нс. Вплив ефекту неоднорідності розподілу енергії в хаотичному імпульсі за часом схожий з впливом білого гаусового шуму. Тому, оцінивши співвідношення «сигнал/шум», викликане цим ефектом, можна порівняти його зі співвідношенням сигнал/шум, що викликане білим шумом, і підставляти в розрахунки менше з цих двох відношень.

Висновки. Побудовано аналітичну модель визначання відстані між сенсорними прийомопередавачами на основі часу прибуття сигналу.

Проведено оцінку похибки часу прибуття сигналу, а також визначено основні параметри, що на неї впливають.

В подальших дослідженнях, для можливості отримання альтернативних результатів, а також більш детального аналізу похибки вимірювань, до складу сенсорної мережі буде включено лазерні віддалеміри.

Список літератури

1. Sichitiu M., Ramadurai V. Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon. *In Proceedings of the 6st IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS 2014)*, FL, October 2014. P. 174–183.
2. Sound Surveillance System (SOSUS). URL: <http://www.fas.org/irp/program/collect/sosus.htm>. Federation of American Scientists.
3. SISVIA (Sistema de Seguimiento y Vigilancia Ambiental). URL: <http://www.dimap.es/news.html>. Technology and environment.
4. Institute of Electrical and Electronics Engineers / Inc., IEEE Std. 802.15.4-2015, IEEE Standard for Information Technology — telecommunications and Information Exchange between Systems — Local and Metropolitan Area Networks — Specific Requirements — Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area

Networks (WPANs). New York: IEEE Press. 2015. P. 250.

5. He T., Huang C., Blum B. Range-free localization schemes for large scale sensor networks. *In MobiCom '09: Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. New York, 2016, ACM Press, New York. P. 81–95.
6. Derivation of Friis Transmission Formula URL: <http://www.antenna-theory.com/basics/friis.php>. The Friis Equation – Назва з титул. екрану.
7. Savvides A., Han C. Strivastava M. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. *In 14th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*. Rome, Italy, 2017. P. 166–179.
8. Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice, 15th edition // *Springer-Verlag*. Berlin. 2014.
9. Elson J. Time synchronization in wireless sensor networks // Department Computer Sciences, University of California, Ph.D. dissertation, Los Angeles. 2014.
10. Whitehouse K. The design of calamari: An ad hoc localization system for sensor networks. *M.S. thesis, University of California at Berkeley*. 2015.
11. Priyantha N., Balakrishnan H., Teller. S. The cricket compass for context aware mobile applications. *In 17th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*. Rome, Italy. July 2016. P. 325.

References

1. Sichitiu, M., Ramadurai, V. (2014). Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon. *In the Proceedings of the 6st IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS 2014)*. Filadelfia, pp 174–183 [in USA].
2. Federation of American Scientists (2016). Sound Surveillance System (SOSUS). [in USA].
3. SISVIA (Sistema de Seguimiento y Vigilancia Ambiental) (2016). [in Spain].
4. Institute of Electrical and Electronics Engineers (2015). IEEE Std. 802.15.4- 2015, IEEE Standard for Information Technology – telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 15.4: Wireless Medium Access Control

- (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). *IEEE Press*. P. 250 [in USA].
5. He, T., Huang, C., Blum, B. (2016). Range-free localization schemes for large scale sensor networks. In: *the MobiCom '09: Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM 2016)*. New York. Pp. 81–95. [in USA].
 6. Derivation of Friis Transmission Formula (2016). [in USA].
 7. Savvides, A., Han, C. Strivastava, M. (2016). Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. In: *the 14th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM 2016)*. Rome, pp. 166–179 [in Italy].
 8. Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. (2014). *Global Positioning System: Theory and Practice*, 15th edition. *Springer-Verlag*, Berlin. [in Germany].
 9. Elson, J. (2014). Time synchronization in wireless sensor networks. *Department Computer Sciences, University of California (Ph.D. dissertation)*, Los Angeles, (in USA).
 10. Whitehouse K. (2015). An ad hoc localization system for sensor networks. *M.S. thesis, University of California at Berkeley*. Berkeley. [in USA].
 11. Priyantha, N., Balakrishnan, H., Teller, S. (2016). The cricket compass for context aware mobile applications. In: *the 17th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM 2016)*. Rome. P. 2016 [in Italy].

A. S. Dudnik¹, Ph.D., associate professor

Associate Professor of the Department of Network and Internet Technologies

V. P. Kvasnikov², Doctor of Technical Sciences, Professor

Head of the Department of Computerized Electrical Systems and Technologies

¹Kiev National University named after. T. Shevchenko

street Vandy Vasilevskaya, 24, Kyiv, 03056, Ukraine

²National Aviation University

Ave Cosmonaut Komarova 1, Kyiv-58, 03058, Ukraine

ANALYTICAL MODEL OF MEASUREMENT AGAINST SENSOR NETWORKS AND EVALUATION OF MEASUREMENT ERROR

Now there are various technological solutions for determining the position of objects in space or on the surface of the earth. This is due to the fact that it is impossible to implement one universal method that is suitable for all possible cases. More precisely, it is impossible to make a device whose specifications would meet the requirements of all (or even most) tasks. The task of positioning is of great interest to developers and manufacturers of equipment, which can testify to its demand. Moreover, most solutions use the radio signal as a carrier of information. Consequently, universal devices that allow simultaneously to transmit and receive data, as well as determine their position in space will have a consumer value. One of the standards governing the operation of wireless transmitting devices with positioning function - IEEE 802.15.4. The general approach to determining the location of an object is based on measuring the characteristics of the radio signal emitted by the transmitter located on the object, and is taken by stationary receivers with known coordinates. According to these characteristics, the distance between the transmitter and each of the receivers is estimated. Then, taking into account the geometric principles, the coordinates of the object are determined. In this paper, the problem of determining the distance between transceivers of chaotic radio pulses is investigated. the distance calculation is based on the propagation of the signal on the air. It is estimated the accuracy of the definition between the transceivers, based on the time of the signal passing, taking into account the obstacles. In further studies, for the possibility of obtaining alternative results, as well as a more detailed analysis of the measurement error, the laser distance measurement will be included in the sensor network.

Keywords: transceiver, sensor, radio pulse, time, distance, error measurement.

Ю. Ю. Бондаренко, к.т.н., доцент,

e-mail: julybo110976@gmail.com

С. О. Филимонов, к.т.н., доцент,

e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

А. А. Мисан, аспирант

e-mail: andreyka.misan@gmail.com

Черкасский государственный технологический университет

б-р Шевченко, 460, м. Черкасы, 18000, Украина

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА АМПЛИТУДУ КОЛЕБАНИЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АКТУАТОРА МАЛОГАБАРИТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Работа посвящена исследованию возможностей применения пьезокерамических актуаторов в малогабаритных летательных аппаратах. Определено рациональное отношение длины к ширине актуатора, что является крайне необходимым при конструировании малогабаритных летательных аппаратов. В результате исследований получены математические зависимости для прогнозирования амплитуды колебаний в зависимости от геометрических размеров пьезоэлектрической пластины. Адекватность модельных расчетов подтверждена экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: пьезокерамика, пьезокерамический актуатор, моделирование, малогабаритные летательные аппараты.

Введение. Одно из важных направлений в современной авиации связано с разработкой беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Широкий спектр практических применений БПЛА охватывает решение следующих основных задач: оптическая, радиолокационная, химическая, бактериологическая и радиационная разведка; мониторинг экологической обстановки; поддержание сетевых телекоммуникаций; контроль морского судходства и т.д. [1].

Одним из направлений развития БПЛА является проектирование малогабаритных летательных аппаратов (МЛА). Пример МЛА представлен на рис. 1 [2].



Рис. 1. Floureon FX 10

В качестве движущей силы в МЛА такого типа используются электромагнитные

двигатели. Дальнейшее уменьшение таких конструкций требует уменьшения габаритов электромагнитных двигателей, что в свою очередь, приводит к уменьшению коэффициента полезного действия [3], а это не допустимо. Иным способом уменьшения габаритов МЛА является использование пьезоэлектрических актуаторов.

Пьезоактуатор – пьезомеханическое устройство, предназначенное для приведения в действие механизмов, систем или управления ими на основе пьезоэлектрического эффекта.

К преимуществам использования пьезоактуаторов как приводов относятся: не лимитированные возможности по разрешению; скорость срабатывания; развитие больших сил; отсутствие магнитного поля; низкое потребление энергии; не подверженность износу; возможность работы в экстремальных условиях [4].

Однако применение пьезоактуаторов связано с рядом физических явлений, которые сложным образом взаимодействуют между собой.

Постановка задачи. Одним из примеров использования пьезоактуаторов в малогабаритных летательных аппаратах является разработка ученых Гарвардского университета робот «RoboBees» [5] (рис. 2).

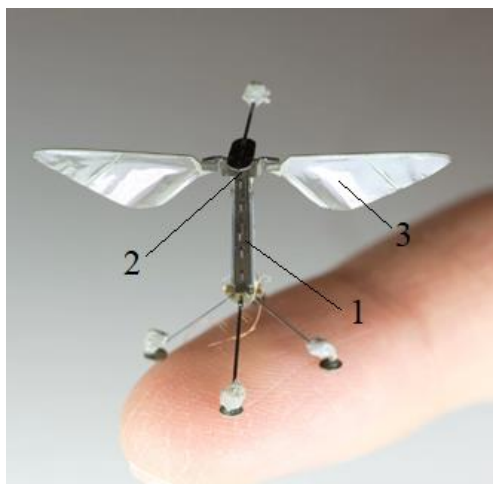


Рис. 2. МЛА RoboBees:

- 1 – пьезоэлектрический актуатор,
2 – редукторный механизм, 3 – крылья

Основным элементом Robobees является пьезоактуатор 1. Выбор пьезоэлектрической пластины сильно зависит от ее геометрических размеров. Анализ технической литературы, научных статей, а также патентов, показал, что не рассматривается выбор параметров актуатора в МЛА. Таким образом, определение оптимальных параметров пьезокерамического актуатора является важной и актуальной задачей, а ее решение является целью данной работы.

Описание объекта и метода исследования. Учитывая технические особенности пьезоэлектрических актуаторов, затрудняющие экспериментальное определение и выбор правильной формы их колебаний, оптимальным является использование с этой целью численных методов расчета, реализуемых специализированными САПР.

Для исследования влияния конструктивных параметров пьезоэлектрического актуатора было проведено численное моделирование процесса работы пьезоэлемента с использованием пакета программ COMSOL Multiphysics 5.2.

COMSOL Multiphysics – это интегрированная платформа для моделирования, включающая в себя все его этапы: от создания геометрии, определения свойств материалов и описания физических явлений, до настройки решения и процесса постобработки, что позволяет получать точные и надежные результаты [6].

Таким образом, пакет моделирования COMSOL 5.2 дает возможность для проведения численного моделирования трёхмерных

моделей пьезоэлектрических актуаторов, с необходимыми параметрами и граничными условиями.

Внутри пьезоэлектрического элемента существует связь между деформацией и электрическим полем, которая определяется материальным или конститутивным соотношением:

$$\begin{aligned} T &= c_E S - e^T E \\ D &= eS + \varepsilon_S E, \end{aligned} \quad (1)$$

где S – деформация, T – напряжение, E – электрическое поле, D – электрическое смещение поля.

Параметры материала c_E , e и ε_S соответствуют жесткости материала, коэффициенту электромеханической связи и диэлектрической проницаемости. Эти величины являются тензорами 4, 3 и 2 ранга соответственно, но, поскольку тензоры симметричны по физическим причинам, они могут быть представлены в виде матриц в сокращенной записи, что обычно более удобно [7].

Использовались Лагранжевы конечные элементы с элементарными базисными функциями второго порядка – Lagrange-Quadratic.

Анализ пьезокерамического актуатора осуществлялся в режиме Frequency response. Расчетная сетка конечных элементов в пункте «Mesh» выбиралась ортогонализированной – Normal. Сетка построена тетрагональным разбиением, исследуемые трехмерные модели представлены совокупностью из больше чем тысячи элементов каждая. В качестве решателя используется Direct, в котором выбран численный метод SPOLES для решения систем линейных уравнений с разреженными матрицами.

Для получения амплитуды максимальных колебаний пьезоэлектрического актуатора (рис. 3), было проведено моделирование, для определения рациональных геометрических параметров. Размеры пьезокерамической пластины представлены коэффициентом $K = b/a$ в безразмерной форме, в результате отношения ширины b к длине a .

На первом этапе моделирования коэффициент K изменялся от 0.44 до 0.147 с шагом 0.02, при этом толщина была постоянной 0.6 мм. На втором этапе моделирования, изменялась ширина b при этом длина a оставалась постоянной и соответствовала размеру, при котором были определены максимальные колебания пьезокерамической пластины на первом этапе.

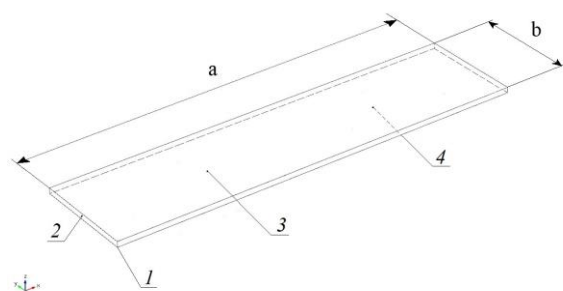


Рис. 3. Аксонометрическая проекция пьезоэлектрического актуатора

Граничные условия для модели пьезоэлектрического актуатора (рис. 3) следующие: пьезокерамическая пластина 1 по ширине стороны 2 имеет тип граничных условий Fixed, электрическое напряжение (Electric potential) 100В приложено к электроду 3, а земля (Ground) к электроду 4 на противоположной стороне.

При проведении численного моделирования в пакете программ COMSOL Multiphysics сначала определялась частота резонанса, на которой пьезокерамический элемент приобретает колебания. Затем определялась его максимальная амплитуда колебаний и осуществлялся выбор рационального отношения длины к ширине.

Также проводились экспериментальные исследования с целью проверки адек-

ватности полученных при моделировании результатов.

Методика проведения экспериментов заключается в следующем. Пьезоэлектрическая пластина 1 жестко закреплена на основании 3 (рис. 4). При подаче переменного электрического напряжения на электроды пьезоэлектрической пластины 1, в последней возникают механические колебания, которые фиксируются USB микроскопом 2.

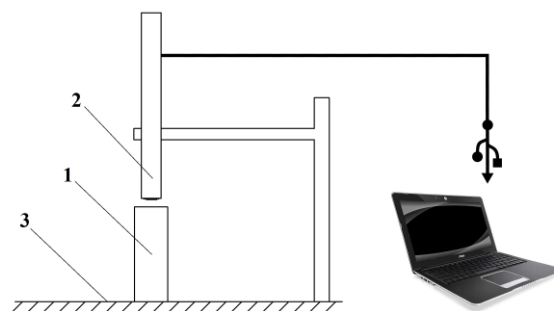


Рис. 4. Схематическое представление экспериментальной установки определения колебаний пьезоэлектрической пластины:

1 – пьезоэлектрическая пластина,
2 – USB микроскоп, 3 – основание

Описание результатов. Некоторые результаты численного моделирования пьезоэлектрического актуатора в случае изменении длины при постоянной ширине представлены на рис. 5.

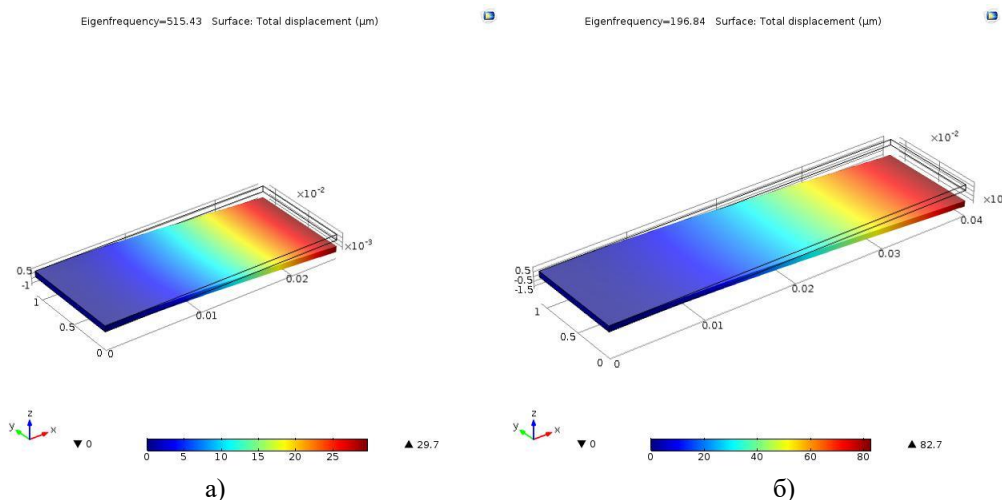


Рис. 5. Результаты моделирования пьезоэлектрического актуатора с отношением длины к ширине, при постоянной ширине: а) 25x11x0.6 мм; б) 40x11x0.6 мм

Полученные результаты численного моделирования представлены графически в виде

зависимости амплитуды колебаний δ от коэффициента $K=b/a$ актуатора и показаны на рис. 6.

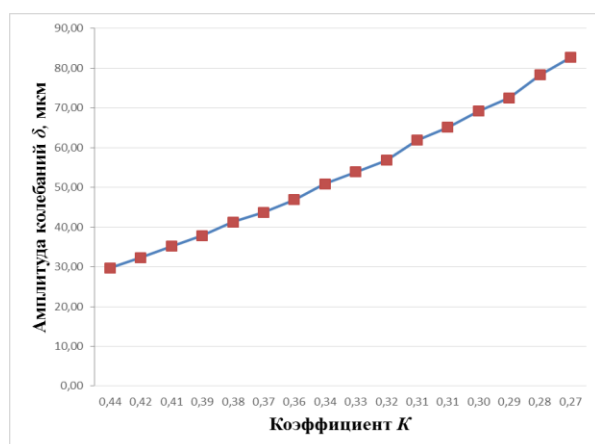


Рис. 6. График зависимости амплитуды колебаний δ пьезоэлектрического актуатора с разными значениями коэффициента K при постоянной ширине

Из рис. 6 видно, что максимальная амплитуда колебаний $\delta=82,7$ мкм пьезоэлектрического актуатора соответствует коэффициенту $K=0,27$, что эквивалентно длине 40 мм.

Полученная в результате численного моделирования графическая зависимость для амплитуды колебаний актуатора была аппроксимирована при помощи показательной функции

$$\delta = ax^b, \quad (2)$$

где δ – амплитуда колебания актуатора, x – коэффициент K , $a = 5,1053748$, $b = -2,1533905$ – коэффициенты.

Следующим шагом определялась амплитуда колебаний δ при изменении ширины b пьезоэлектрической пластины, при постоянном значении длины $a = 40$ мм. Некоторые из результатов численного моделирования представлены на рис. 7. Ширина b изменяется в пределах от 5 до 20 мм, с шагом 1 мм. Уменьшение ширины меньше чем 5 мм приводит к большим механическим напряжениям в основании пьезоэлектрической пластины, что может привести к ее разрушению. На основе результатов численного моделирования построен график зависимости амплитуды колебаний δ пьезоэлектрического актуатора с разными значениями коэффициента K при постоянной длине, который представлен на рис. 8.

Из рис. 8 видно, что максимальная амплитуда колебаний пьезоэлектрического актуатора соответствует коэффициенту $K = 0,125$, что эквивалентно ширине 5 мм.

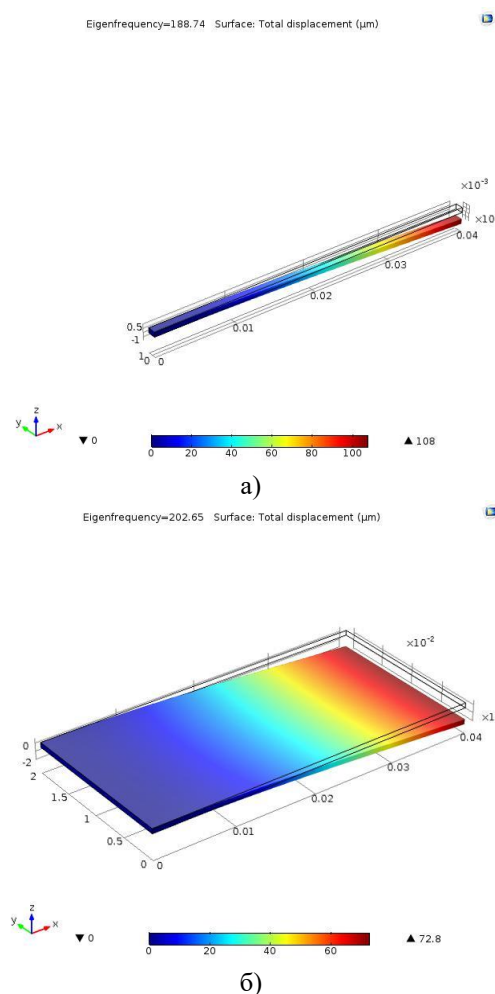


Рис. 7. Результаты моделирования пьезоэлектрического актуатора с отношением длины к ширине, при постоянной длине: а) 40x1x0.6 мм; б) 40x20x0.6 мм

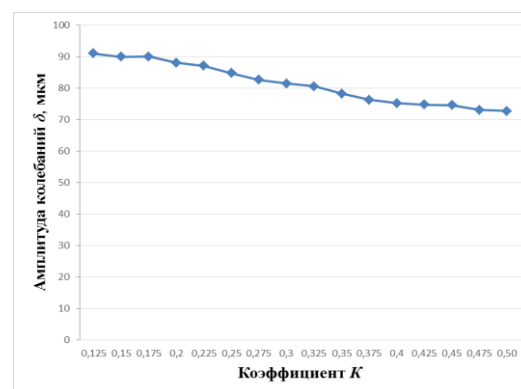


Рис. 8. График зависимости амплитуды колебаний δ пьезоэлектрического актуатора с разными значениями коэффициента K при постоянной длине

Полученная в результате численного моделирования графическая зависимость для амплитуды колебаний актуатора была аппроксимирована с применением метода

наименьших квадратов квадратичной функцией второго порядка

$$\delta = a + bx + cx^2, \quad (3)$$

где δ – амплитуда колебания актуатора, x – коэффициент K толкателя, $a = 132.03914$, $b = -123.4657$, $c = 84.762335$ – коэффициенты.

Для подтверждения адекватности моделирования проведен эксперимент с образцом пьезоэлектрической пластины (рис. 9) по рациональным данным.

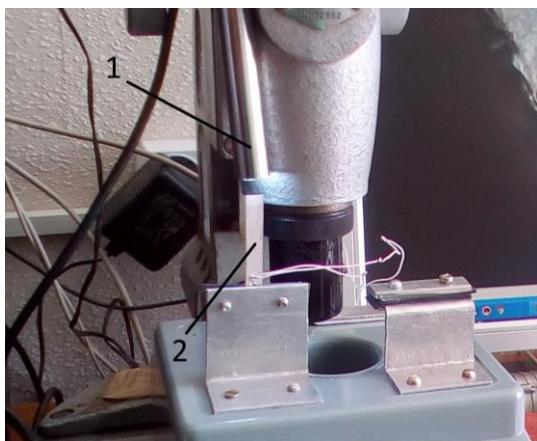


Рис. 9. Экспериментальная установка для определения амплитуды колебаний пьезоактуатора: 1 – USB микроскоп; 2 – пьезоэлектрическая пластина

Результат экспериментальных исследований, приведенный на рис. 10.



Рис. 10. Экспериментальные результаты свободной стороны пьезоактуатора под микроскопом, увеличение 250 крат: а) в состоянии покоя; б) при подаче напряжения 100 В с частотой 146 Гц

Выводы. Основные результаты исследований следующие: путем численного моделирования процесса функционирования пьезоэлектрической пластины было определено рациональное отношение ширины к его длине, которое составляет $K = 0,125$. Данной геометрии пьезоэлектрической пластины соответствует амплитуда колебаний $\delta = 82.7$ мкм; полученные данные можно использовать при проектировании малогабаритных летательных аппаратов на основе пьезо-

керамических актуаторов. Полученные математические зависимости помогут спрогнозировать амплитуду колебаний пьезоактуатора в зависимости от геометрических размеров пьезоэлектрической пластины.

Список литературы

1. Лохин В. М. Тенденции развития беспилотных летательных аппаратов мини и микро классов. *Нано- и микросистемная техника*, №2. 2005.
2. GearBest. URL: https://www.gearbest.com/rc-uadcopters/pp_198338.html?vip=3010299&gclid=Cj0KCQjwuYTYBRDsARIsAJnrUXBfTESptb3hyxr11ZmQ9jxMt-WrkMghrzYVl52Y702yXQipFjGLHVQaAsyrEALw_wcB
3. Смирнов А.Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами Санкт-Петербург СПбГПУ, 2003.
4. Панич А. Е., Жуков С. Н. Пьезоэлектрическое приборостроение. Т.4. Пьезоэлектрические актуаторы. Ростов-на-Дону: ЦВВР, 2008.
5. Wyss Institute. URL: <https://wyss.harvard.edu/technology/autonomous-flying-microrobots-robobees/>
6. Егоров В. И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности. Санкт-Петербург: СПб ГУ ИТМО, 2006.
7. Spicci L, Cati M. Термический анализ пьезо-диска ультразвукового зонда. Парижская Comsol конференция 2012.
8. Шарапов В. М., и др. Пьезокерамические трансформаторы и датчики. Нью-Йорк, 2011.
9. Жуков С. Н. Пьезоэлектрическая керамика: принципы и применение. Мн: ООО ФУАинформ, 2003.

References

1. Lokhin V.M. (2005) Trends in the development of pilotless flying vehicles of mini and micro classes. *Nano- and microSystem technology*, No. 2 [in Russian].
2. GearBest. URL: https://www.gearbest.com/rc-uadcopters/pp_198338.html?vip=3010299&gclid=Cj0KCQjwuYTYBRDsARIsAJnrUXBfTESptb3hyxr11ZmQ9jxMt-WrkMghrzYVl52Y702yXQipFjGLHVQaAsyrEALw_wcB

3. Smirnov A.B. (2003) *Mechatronics and Robotics. Systems of micro-displacements with piezoelectric drives*. St.Petersburg: SPbSPU [in Russian].
4. Panich, A.E., Zhukov, S.N. (2008) *Piezoelectric Instrument Making. T.4. Piezoelectric actuators*. Rostov-on-Don: CVUR [in Russian].
5. Wyss Institute. URL: <https://wyss.harvard.edu/technology/autonomous-flying-microrobots-robobees/>
6. Egorov V.I. (2006) *Application of a computer for solving problems of heat conduction*. St. Petersburg: SPb NRU ITMO [in Russian].
7. Spicci L, Cati M. (2012) Thermal Analysis of a piezo-disk ultrasound probe. In: *Comsol Conference* [in Paris].
8. Sharapov V. (2011) *Piezoceramic sensors*. New York: Springer Verlag [in USA].
9. Zhukov S.N. (2003) *Piezoelectric ceramics: principles and applications*. Mn: OOO FU-Auinform [in Belarus].

Yu. Yu. Bondarenko, *Ph.D., associate professor*
e-mail: julybo110976@gmail.com

S. A. Filimonov, *Ph.D., associate professor*
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

A. A. Misan, *graduate student*
e-mail: andreyka.misan@gmail.com

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS ON THE AMPLITUDE OF SMALL-SIZED FLYING APPARATUSES PIEZOELECTRIC ACTUATOR VIBRATIONS

The work is devoted to the investigation of the possibilities of using piezoceramic actuators in small-sized aircrafts. The rational relation of the length to the width of the actuator is determined, which is extremely necessary for the design of small-sized aircraft. As a result of the research, mathematical dependencies were obtained for predicting the amplitude of oscillations depending on the geometric dimensions of the piezoelectric plate. The adequacy of model calculations has been confirmed by experimental studies.

Keywords: *piezoceramics, piezoceramic actuator, modeling, small-size aircraft.*

М. Ю. Шкуро, аспірант

e-mail: skuro_mu@meta.ua

Київський національний університет будівництва і архітектури,

просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ПІДВИЩЕННЯ МУНІЦИПАЛЬНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Обґрунтовано шляхи вирішення проблеми підвищення муніципальної енергоефективності із застосуванням проектного підходу. Зроблено аналіз літератури щодо підвищення енергоефективності і дослідження стандартів в галузі управління проектами. Представлена концептуальна модель проекту підвищення муніципальної енергоефективності і сформульовано вимоги до неї. Концептуальна модель включає чотири аспекти – технологічний, організаційний, управлінський і інформаційний. Постульовано, що в концептуальну модель необхідно провести трансфер моделей цих аспектів. Визначені суттєві характеристики кожного аспекту для здійснення ефективного трансферу. Формалізовано модель оцінювання рішень з енергоефективності для вибору оптимального рішення. Сформульований підхід холістичного бачення до проекту підвищення муніципальної енергоефективності. Визначені елементи холістичного бачення у окремих підсистемах системи управління проектом. Розроблена послідовність реалізації періодичного цілісного моніторингу проекту підвищення муніципальної енергоефективності.

Ключові слова: управління проектами, муніципальна інфраструктура, енергоефективність, холізм, синергетизм, проактивність.

Постановка проблеми

Вектор європейської інтеграції, що визначений в Україні на державному рівні, недостатня ефективність українського виробництва і заощадливість житлово-комунального господарства вимагають від нашої країни впровадження прогресивних енергоощадних технологій.

Один з найважливіших вимірів у впровадженні енергоефективних технологій – муніципальний. Саме муніципальне господарство, яке характеризується низькою енергоефективністю, потребує модернізації для забезпечення конкурентоспроможності економіки України серед країн Європейського Союзу.

Підвищення енергоефективності муніципального господарства має розглядатися як діяльність, що має яскраво виражені проектні риси. Отже, для ефективної реалізації такої діяльності їй необхідно розглядати як портфель (або, скоріше, програму) проектів, що взаємопов'язані.

Для кожного проекту, який може розглядатися як такий, що належить до окремого класу проектів – проектів підвищення муніципальної енергоефективності, необхідно розробити моделі і методи, що покращують його управління і забезпечують збільшення ймовірності отримання продукту проекту в межах визначених обмежень.

Розробка моделей проектів зазвичай починається з концептуальної моделі, чому і присвячена ця стаття.

Аналіз останніх досліджень

Проблеми енергоефективності, зокрема у регіональному вимірі, стали предметом ґрунтовних досліджень [1]. Необхідність і актуальність підвищення енергоефективності економіки України підтверджується вже хоча б тим фактом, що у 2014 році було перекладено і включено до переліку державних стандартів України стандарт ISO з енергетичного менеджменту [2].

Моделі і методи проекту підвищення муніципальної енергоефективності (далі – проект ПМЕ) мають базуватися на сучасних стандартах і напрацюваннях українських і зарубіжних вчених у галузі проектного менеджменту.

Важливим у цьому сенсі є використання стандарту з оцінювання індивідуальної компетентності фахівців у галузі управління проектами [3], який не тільки визначає вимоги до фахівців, а й дає уявлення про більшість аспектів проектної діяльності.

Управління сукупностями проектів енергоефективності доцільно будувати на основі комбінації стандартів з управління портфелями і програмами [4, 5], з використанням на-

працювань найвідомішого стандарту у галузі управління проектами РМВОК [6].

Для того, щоб адекватно перенести моделі управління і адаптувати їх до вимог проекту, використовується модель трансферу технологій, що описана в літературі [7, 8].

І для збереження при цьому цілісності проекту і його системи управління, деякі автори [9, 10] рекомендують застосовувати принцип холістичного бачення.

Метою статті є формулювання концептуальної моделі проекту підвищення муніципальної енергоефективності, розробка управлінських інструментів, що доповнюють концептуальну модель – моделі підтримки прийняття рішень щодо енергоефективності, підходу холістичного бачення, підходу щодо проведення цілісного моніторингу проекту.

Виклад основного матеріалу

Концептуальна модель системи управління проектами підвищення муніципальної енергоефективності має включати усі сучасні напрацювання, що стосуються галузей знань, які мають використовуватися в проектах ПМЕ, а також інтеграційну компоненту.

Сформулюємо вимоги до такої моделі:

- наукова обґрунтованість використовуваних елементів;
- актуальність (сучасність) використовуваних елементів;
- концептуальна модель має забезпечувати гнучкість системи управління;
- система управління, що визначена концептуальною моделлю, має періодично та/або ситуативно оновлюватися;
- концептуальна модель має передбачати інструменти технологічного випередження конкурентів (або забезпечення лідерства у галузі);
- обов'язковим елементом концептуальної моделі має бути прогнозування поведінки зовнішнього і внутрішнього проектного середовища (проактивність);
- ефективна інтеграція і несуперечливість використовуваних моделей, методів, інструментів та інших елементів концептуальної моделі.

На основі вище викладених вимог, запропонуємо концептуальну модель проектів ПМЕ (рис. 1).

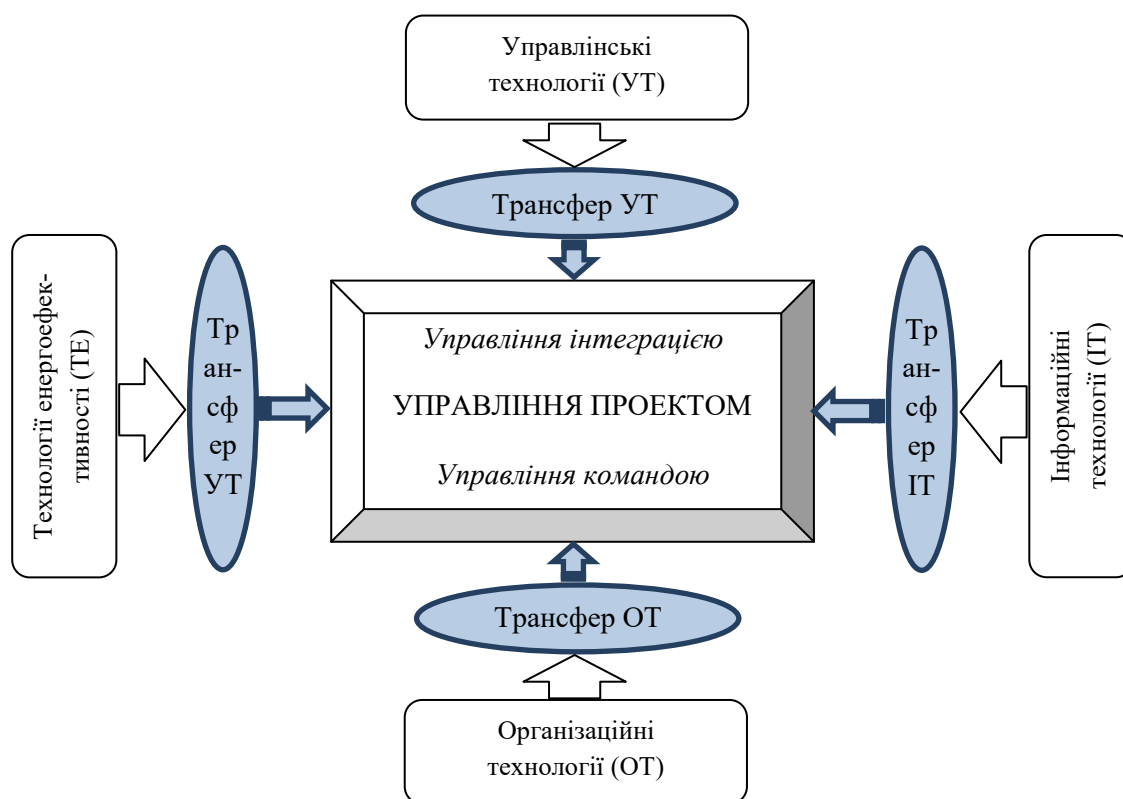


Рис. 1. Концептуальна модель проекту ПМЕ

У наведеній моделі об'єднано чотири суттєвих аспекти проекту – технологічний, організаційний, управлінський і інформаційний.

Враховуючи особливості кожного з наведених аспектів, визначимо суттєві характеристики кожного з них для здійснення ефективного трансферу в систему управління проектом ПМЕ (табл. 1).

Таблиця 1
Характеристика аспектів проекту ПМЕ

№	Аспект	Характеристика аспекту
1.	ТЕ	- Інноваційність; - Прогресивність; - Апробованість; - Сумісність з існуючим обладнанням; - Можливість подальшого розвитку.
2.	УТ	- Сучасність; - Проектний підхід; - Проактивність; - Гнучкість (Agile); - Холізм.
3.	ІТ	- Мультиплатформеність; - Інтегрованість; - Адаптивність; - Масштабованість; - Простота в користуванні.
4.	ОТ	- Гнучкість оргструктури; - Ефективна мотивація; - «Скриньки» якості; - Командна робота; - Орієнтація на результат.

Основним акцентом проектів ПМЕ є впровадження кращих (за умов існуючих обмежень і припущень) рішень щодо енергоефективності.

Отже, необхідно запропонувати метод вибору кращого (оптимального) рішення щодо енергоефективності.

Вихідними даними для вирішення цієї задачі будуть деякі критерії енергоефективності k^e , які потрібно визначити. Далі критерії мають отримати вагу для кожного типу рішення. Після цього їх необхідно оцінити (наприклад, експертно). Окрім цього, сукупність критеріїв може впливати на енергоефективність інакше, ніж їх проста сума. Виникає явище синергетизму (який, проте, може бути і від'ємним), яке теж має бути оціненим.

Таким чином, модель оцінювання рішень для вибору кращого (оптимального) з них можемо сформулювати у вигляді:

$$R_j^1 = \sigma_1 \cdot w_1 \cdot (E_1^{j,1} \cdot k_1^e + \dots + E_i^{j,1} \cdot k_i^e + \dots + E_l^{j,1} \cdot k_l^e) = \sigma_1 \cdot w_1 \cdot \sum_{i=1}^l (E_i^{j,1} \cdot k_i^e) \quad (1)$$

де R_j^1 – оцінка j -го варіанта рішення першим експертом;

σ_1 – оцінка синергетичного ефекту від сукупної дії усіх критеріїв енергоефективності, що дана першим експертом;

w_1 – вага першого експерта в експертній групі;

$E_i^{j,1}$ – оцінка, що дана першим експертом, i -му критерію за j -им рішенням щодо енергоефективності;

k_i^e – критерій енергоефективності i -го параметру рішення.

Оцінка j -го рішення експертною групою, що складається з F експертів отримаємо за формулою:

$$R_j = \sum_{f=1}^F (\sigma_f \cdot w_f \cdot \sum_{i=1}^l (E_i^{j,f} \cdot k_i^e)) \quad (2)$$

Особі, що приймає рішення, надається результат оцінювання експертною групою J рішень щодо енергоефективності $R_1, R_2, \dots, R_J$ з рекомендацією розглядати до прийняття три рішення з найбільшими значеннями R_j .

Іншим аспектом проекту ПМЕ, що потребує розгляду, є його комплексна складність. Багато аспектів проекту мають сукупно управлятися, а отже необхідно застосовувати системне, цілісне управління. Для його здійснення застосуємо підхід управління, що передбачає формування і втілення холістичного бачення проекту – підхід холізму.

Холістичне бачення має на увазі врахування усіх аспектів проекту і здійснення управління ними з урахуванням взаємовпливу аспектів один на одного і сукупного впливу аспектів на систему. Так, що одним з важелів і факторів управління є синергетичний ефект.

Визначимо елементи холістичного бачення у окремих підсистемах системи управління проектом ПМЕ (табл. 2).

В таблиці вказані десять галузей знань в управлінні проектами з останньої редакції стандарту РМВОК, а також елементи холістичного бачення, що мають реалізовуватися в

межах цих галузей, підтримуючи холізм системи управління проектом ПМЕ.

Основними елементами холістичного бачення є використання проактивності (прогнозування при управлінні), оптимізація ресурсів, командна робота групи управління проектом і трансформація конфліктів, що виникають у проекті ПМЕ, у його рушійні сили (а не спротиви).

Таблиця 2
Елементи холізму в проекті ПМЕ

№	Підсистема системи управління проектом	Елемент холістичного бачення
1.	Управління інтеграцією	Врахування взаємовпливу
2.	Управління змістом	Технологічні інновації
3.	Управління розкладом	Проактивність
4.	Управління вартістю	Оптимізація
5.	Управління якістю	Синергетизм
6.	Управління ресурсами	Командна робота
7.	Управл. комунікаціями	Трансформація конфліктів
8.	Управління ризиками	Проактивність
9.	Управління поставками	Оптимізація
10.	Управл. стейкхолдерами	Консенсус

Напрацювання щодо енергоефективності і холістичного бачення проекту ПМЕ мають бути не тільки коректно розроблені, але й ефективно впроваджуватися. Для цього необхідно сформулювати певний підхід (який у подальшому може трансформуватися у модель і далі у алгоритм) щодо проведення моніторингу проекту ПМЕ. Зазначений підхід, на відміну від існуючих, повинен мати акцент на відслідковуванні аспектів синергетизму, проактивності і холістичного бачення проекту.

В межах підходу щодо проведення цілісного моніторингу проекту ПМЕ виділимо три основних підсистеми системи управління проектом – підсистему управління інтеграцією, підсистему управління розкладом, підсистему управління командою.

Послідовність реалізації періодичного цілісного моніторингу проекту ПМЕ в межах пропонованого підходу можна визначити наступним чином.

Спершу проводиться збір актуальних даних щодо виконання проекту в межах підсистем управління розкладом та управління ресурсами.

На другому етапі оцінюється технологічна складова (що стосується рішень щодо енергоефективності в продукті проекту), прогрес у її втіленні і аналізується необхідність змін в межах підсистеми управління змістом проекту.

На третьому етапі визначається попереднє бачення інтеграційних впливів на проект, які б здійснювали впливи, що давали б синергетичний ефект.

На четвертому етапі оцінюються зміни в похідних підсистемах за звітний період – підсистемах управління вартістю, якістю, поставками.

На п'ятому етапі має проводитися глибокий аналіз ризиків проекту з розробкою проактивних протиризикових заходів.

На шостому етапі розглядається стан і плануються зміни у підсистемах, що відносяться до «м'якого компоненту» проектного менеджменту (що пов'язаний з людським фактором) – підсистемах управління стейкхолдерами, управління комунікаціями і частині підсистеми управління ресурсами, що розглядає управління командою і персоналом проекту ПМЕ.

На останньому, сьомому, етапі уточнюються інтегруючі, коригуючі, холістичні впливи, які необхідно здійснити на проект за результатами проведеного цілісного моніторингу, які далі впроваджуються.

Пропонований підхід, що включає сім етапів, які періодично реалізуються в проекті під час проведення планового моніторингу, містить проактивні, холістичні і синергетичні компоненти, що сприятиме глибині, якості і ефективності моніторингу проекту ПМЕ. Це, в свою чергу, забезпечуватиме отримання проектом ПМЕ потрібного результату в межах визначених обмежень і задоволення (або навіть перевищення) очікувань основних зацікавлених сторін щодо проекту.

Висновки

В статті представлена концептуальна модель проекту підвищення муніципальної енергоефективності. Модель поєднує чотири важливих аспекти – один технологічний і три управлінських, що стосуються організаційної, інформаційної і безпосередньо управлінської складової. Концептуальна модель проекту ПМЕ доповнена моделлю аналізу рішень щодо енергоефективності, підходом управління на основі холістичного бачення і підходом щодо проведення цілісного моніторингу про-

екту ПМЕ. Запропоновані інструменти сприятимуть підвищенню якості управління проектом ПМЕ і збільшать ймовірність отримання ним запланованих результатів в межах визначених обмежень.

Список літератури

1. Шевцов А. І., Бараннік В. О., Земляний М. Г., Рязова Т. В. Аналітична доповідь «Енергоефективність у регіональному вимірі. Проблеми та перспективи» Дніпропетровськ: Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень в м. Дніпропетровську. 2014. 78 с.
2. ДСТУ ISO 50001:2014. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT). К.: Мінекономрозвитку України, 2015. 27 с.
3. IPMA “Individual Competence Baseline” (ICB) Version 4.0 for Project, Programme & Portfolio Management / IPMA, 2015. 431 p. URL: <http://products.ipma.world/ipma-product/icb/read-icb/>.
4. OGC. Portfolio, Programme and Project Management Maturity Model (P3M3) URL: <https://www.axelos.com/best-practice-solutions/p3m3>.
5. Руководство по управлению инновационными проектами и программами : т. 1, версия 1.2 / пер. на рус. язык под ред. С. Д. Бушуева. К.: Наук. світ, 2009. 173 с.
6. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) Sixth Edition / USA. PMI, 2017. 756 p.
7. Передача технологій // Українська дипломатична енциклопедія: у 2 т. / Л. В. Губерський (голова). К.: Знання України, 2004. Т.2. М–Я. 812 с.
8. Бушуев Д. А. Механизмы переноса знаний программ развития организаций. *Управление развитием сложных систем*. 2016. №25. С. 11–16.
9. Редько В. Є. Особливості холістичного управління в туризмі. *Вісн. національного університету водного господарства та природокористування. Серія Економіка: зб. наук. пр.* Рівне, 2014. № 1 (65). С. 331–338.
10. Бушуев С. Д., Козир Б. Ю. Інноваційні механізми управління програм розвитку

морських транспортних кластерів. *Управление развитием сложных систем*. 2011. №7. С. 5–7.

References

1. Shevtsov, A. I., Barannik, V. O., Zemlyany, M. G., Riauzova, T. V. (2014) Energy efficiency in the regional dimension. Problems and perspectives. Analytical report. Dnipropetrovsk: Regional Branch of the National Institute for Strategic Studies in Dnipropetrovsk, 78 p.
2. DSTU ISO 50001: 2014 (2015) Energy Management Systems. Requirements and usage guidelines (ISO 50001: 2011, IDT). K.: Ministry of Economic Development of Ukraine, 27 p.
3. IPMA “Individual Competence Baseline” (ICB) Version 4.0 for Project, Program & Portfolio Management (2015). IPMA, 431 p. URL: <http://products.ipma.world/ipma-product/icb/read-icb/>.
4. OGC (Office of Government Commerce). Portfolio, Program and Project Management Maturity Model (P3M3). URL: <https://www.axelos.com/best-practice-solutions/p3m3>.
5. Bushuyev, S.D. ed. (2009) Innovative Project and Program Management Guide: Vol. 1, Version 1.2. Kyiv. Science World, 173 p.
6. A Guide to the Project Management of the Knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth Edition (2017). USA. PMI, 756 p.
7. Technology Transfer. Ukrainian Diplomatic Encyclopedia: 2 t. L.V. Hubersky (head). – K. Knowledge of Ukraine, 2004. T.2, 812 p.
8. Bushuyev, D. A. (2016). Immune memory as a management tool enterprise development program. *Management of Development of Complex Systems*, 25, pp. 11–16.
9. Redko V. Y. (2014). Features holistic management in tourism. *Visnyk natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya: seriya Ekonomika: zbi. nauk. prats.* 1(65), pp. 331–338.
10. Bushuyev S. D., Kozyr B. Y. (2011). Innovative mechanisms of management of sea transport cluster development programs. *Management of Development of Complex Systems*, 7, pp. 5–7.

M. Y. Skuro, *Postgraduate*
e-mail: skuro_mu@meta.ua

Kyiv National University of Construction and Architecture,
av. Povitroflotskyi, 31, Kyiv, 03037, Ukraine

CONCEPTUAL MODEL OF PROJECT MANAGEMENT SYSTEM FOR INCREASING MUNICIPAL ENERGY EFFICIENCY

The problem of raising the municipal energy efficiency is set. The application of the project approach to activities to increase municipal energy efficiency is substantiated. Analysis of the literature on energy efficiency has been conducted. The study of standards in the field of project management has been made.

Conceptual model of municipal energy efficiency improvement project is provided. Requirements for the conceptual model are formulated. The conceptual model includes four aspects – technological, organizational, managerial and informational.

It is postulated that in the conceptual model it is necessary to carry out the transfer of models of these aspects. The essential characteristics of each aspect for an efficient transfer are determined. The model for estimating energy efficiency solutions for the choice of optimal solution is formalized.

The approach of the holistic vision to the project of raising the municipal energy efficiency is formulated. Elements of the holistic vision in the individual subsystems of the project management system are defined.

The sequence of implementation of periodic holistic monitoring of the project for the increase of municipal energy efficiency has been developed. Conclusion on the effectiveness of these approaches is made.

Keywords: *project management, municipal infrastructure, energy efficiency, holism, synergetics, proactivity.*

Ю. Л. Хлевна, к.т.н., доцент кафедри технологій управління,
e-mail: yuliya.khlevna@gmail.com
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 60, Київ, 01033

МЕТОД ОЦІНКИ ТА УПРАВЛІННЯ ВПЛИВАМИ НА ФОРМУВАННЯ КОНКРЕТИЗОВАНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

Основне джерело ефективного управління проектами – сучасні методології проектного менеджменту. Але їх впровадження, особливо в вітчизняній практиці, стикається з безліччю проблем, що в результаті призводить до зневіри працівників підприємств у методології управління проектами. Пропонується вирішити цю проблему через створення мета-методології управління проектами (ММУП). Вона буде забезпечувати створення орієнтованої на підприємство конкретизованої методології управління проектами (КМУП). В роботі виокремлено класи інструментів КМУП. Введено поняття коефіцієнта важливості інструменту КМУП для проектного управління. Показано, що кожен інструмент КМУП може бути отриманий з деякою ймовірністю, значення якої залежить від впливів ММУП. Запропоновано цільову функцію оцінки змін в ймовірностях отримання інструментів КМУП. Розроблено метод підбору впливів ММУП на формування КМУП, який базується на: визначенні коефіцієнту важливості інструментів КМУП; формуванні групи експертів; формуванні множини керованих впливів; експертному методі формування інструментів КМУП без застосування ММУП та з урахуванням ММУП; розрахунку значення цільової функції впровадження інструментів КМУП. Це дозволить відібрати позитивні впливи ММУП на формування КМУП та реалізувати їх на практиці при створенні систем управління проектами на проектно-орієнтованих підприємствах.

Ключові слова: мета-методологія, конкретизована методологія, вплив, інструменти мета-методології, проекти, управління проектами.

Постановка проблеми. Мета-методологія управління проектами (ММУП) є основним інструментом впливу на проектно-орієнтоване підприємств з метою удосконалення всіх процесів управління. Результатом використання ММУП є створення конкретизованої методології управління проектами (КМУП), що інтегрує інструменти, процеси, знання існуючих методологій управління проектами (МУП) з знаннями, інструментами та процесами конкретного підприємства. Але сама ММУП та КМУП не удосконалюють процеси управління. Ці методології дозволяють підібрати та впровадити ті методологічні інструменти, які найбільш ефективно покращують всі процеси управління, в першу чергу, процеси управління проектами (УП). Таким чином, мета-методологія базується на формалізованих інструментах впливу на різноманітні процеси, пов'язані із впровадженням методології управління проектами на проектно-орієнтованому підприємстві. По суті, вона не лише забезпечує проектних менеджерів-практиків шаблонами, правилами, алгоритма-

ми, схемами, орієнтованими на вироблення у всіх учасників процесу впровадження позитивного мотивованого відношення до методології управління проектами, але й дозволяє вибирати саме ті інструменти, які найбільше впливають на підвищення ефективності діяльності проектно-орієнтованого підприємства. Разом з тим, неабияку роль при формуванні інструментів КМУП відіграють впливи. Тому необхідно вирішити наукову проблему ефективного управління впливами на формування конкретизованої умовами підприємства методології управління проектами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання ролі різноманітних методологічних інструментів в управлінні проектами розглядалось в роботах [1–4]. Ключові питання впровадження методологій висвітлено у роботах [5, 6], ММУП та КМУП присвячено роботи [7–9]. Роль впливів при впровадженні методологій представлено у роботі [10]. Разом з тим, питання формування інструментів КМУП під дією впливів залишається відкритим.

Метою статті є розробка методу підбору впливів ММУП, які приведуть до створення такої конкретизованої методології управління проектами, яка дозволить підвищити ефективність управління проектами підприємства.

Виклад основного матеріалу. ММУП, КМУП та процеси виконання проектів пов'язані так, як показано на рисунку 1.

Виходячи із представленої схеми, ММУП формує КМУП, конкретизована методологія, в свою чергу, має вплив на процеси управління, а процеси управління мають вплив на результати проектів. По суті, для успішного виконання проектів потрібно підібрати таку конфігурацію ММУП, яка дасть потрібні для управління проектами інструменти КМУП.

Під інструментами КМУП розуміють знання та вміння менеджерів виконувати функції з управління та реалізації проектів, методики управління, методи та засоби реалізації функцій управління. В умовах ММУП такі інструменти ще не сформовані та не визначено роль впливів на їх формування.



Рис. 1. Взаємодія ММУП, КМУП та процесів управління і виконання проектів

З позиції КМУП виокремимо такі класи інструментів: організаційні I_o , технічні I_t , фінансові I_f , та методологічні I_m .

Технічні інструменти КМУП, I_t – інструменти, які базуються на основі використання знань технічних та програмних засобів підприємства, спрямовані на полегшення процесів ініціації, планування, виконання, аналізу, контролю та завершення проектів. Прикладом таких інструментів можуть бути: використання закритих каналів зв'язку, кор-

поративних мереж та засобів зв'язку, сучасних стаціонарних та мобільних пристроїв, в які імplementовані програмні продукти управління проектами (Microsoft Project, Jira, GanttPro, Easy Redmine, тощо), системи управління інформацією та документацією (PrimaDoc, Аскод, та ін.) тощо.

Фінансові інструменти КМУП, I_f – засоби, які передбачені фінансовою політикою підприємства. Сюди можна віднести: фінансові ресурси, стимули, санкції, страхові поліси, кредитні договори тощо.

Методологічні інструменти КМУП, I_m – інструменти, які ґрунтуються на знаннях ММУП стосовно впровадження методологій управління проектами. Прикладами інструментів є: регламенти, інструкції, положення, розпорядження, накази.

Організаційні інструменти КМУП, I_o охоплюють, як класичні, так і інноваційні інструменти управління проектами, пов'язані з роботою трудових ресурсів та управління ними, з процесами аутсорсингу, бенчмаркінгу, реінжинірингу. Крім того, вони уособлюють в собі функціонування інших інструментів, таких як технічні, фінансові та методологічні. Так, наприклад, створення офісу управління проектами (ОУП), можливе лише після підписання відповідного наказу та розробки положення про ОУП.

Наведені класи інструментів охоплюють підкласи та окремі елементи, які потрібно сформувати такими, щоб процеси управління та виконання проектів з найвищою ймовірністю давали потрібний результат. Вирішимо цю задачу.

Для того, щоб визначити, які впливи потрібно реалізувати, щоб найбільш потрібні інструменти сформувались, введемо коефіцієнт важливості інструменту КМУП для проектного управління – α_j . Це забезпечить виокремлення саме тих інструментів, які потрібні при реалізації проекту впровадження МУП.

Звичайно, коли проектів впровадження МУП реалізується багато, в різних організаціях, то не завжди необхідне використання конкретного інструменту I_j . В цьому випадку буде змінюватись коефіцієнт α_j – від 0 (інструмент не потрібен), до 1 (без нього ніяк не можна). ММУП впливає на процес формування всіх інструментів. Причому, різні компоненти ММУП по-різному. Одні впливають позитивно, інші негативно. Таким чином, можна говорити, що інструмент I_j , навіть якщо

його важливість дорівнює 1, може бути отриманий з деякою ймовірністю. Зрозуміло, що реалізація тих чи інших впливів робить цю ймовірність більшою, або меншою.

Опишемо узагальнений метод підбору раціональних впливів ММУП на формування КМУП. наступними кроками:

1. Визначення коефіцієнту важливості інструментів КМУП.

Будемо виходити з тих позицій, що коефіцієнт важливості інструментів КМУП отримано, і тепер важливо підібрати такі впливи ММУП, які зроблять ймовірність реалізації найбільш важливих інструментів максимальною. Задаймося таблицею важливості інструментів КМУП (табл. 1).

Функціонування наведених класів інструментів залежить від впливів ММУП. Такі впливи представлені у [10]. Якщо зобразити позитивні зміни проекту через вплив інструментів КМУП отримаємо цільову функцію:

$$\sum_{j=1}^4 [\alpha_j \cdot p_j + (1 - \alpha_j) \cdot (1 - p_j)] \rightarrow \max, \quad (1)$$

при обмеженнях

$$1) \quad 0 \leq \alpha_j \leq 1;$$

$$2) \quad p_j = f(M),$$

де α_j – коефіцієнт важливості інструменту КМУП I_j для проектного управління;

p_j – ймовірність отримання інструменту КМУП I_j ;

M – мета-методологія УП.

Таблиця 1

Важливість інструментів КМУП для проектного управління

Класи інструментів КМУП	Коефіцієнт важливості
Технічні	α_1
Фінансові	α_2
Методологічні	α_3
Організаційні	α_4

Дія впливів ММУП приведе до змін в ймовірностях формування інструментів КМУП. Ці зміни приведуть до досягнення чи до недосягнення цільового значення (1). Результати впливів ММУП можна представити у вигляді таблиць ймовірностей формування інструментів КМУП (табл. 2).

Таблиця 2

Ймовірність формування інструментів КМУП під впливом ММУП

Класи інструментів КМУП	α	Впливи ММУП			
		v_1	v_2	...	v_n
Технічні	α_1	$p_{1,1}$	$p_{2,1}$	...	$p_{n,1}$
Фінансові	α_2	$p_{1,2}$	$p_{2,2}$	...	$p_{n,2}$
Методологічні	α_3	$p_{1,3}$	$p_{2,3}$	...	$p_{n,3}$
Організаційні	α_4	$p_{1,4}$	$p_{2,4}$	...	$p_{n,4}$

Наведена таблиця, якщо вона буде наповнена конкретними значеннями може стати основою для вибору тих впливів ММУП, які забезпечать отримання потрібних інструментів КМУП з найвищою ймовірністю. По суті вона стане основою управління процесом впровадження МУП. Але для вирішення цієї задачі необхідно:

1. Наповнити наведену таблицю конкретними значеннями.

2. Розробити метод управління впровадженням МУП, який дозволить на основі представленої в табл. 1 і табл. 2 інформації розробити раціональну стратегію реалізації впливів ММУП на інструменти КМУП. Що, в свою чергу, дозволить максимізувати вираз (1).

Для наповнення табл. 1-2 конкретними значеннями можна використати як статистичні, так і експертні методи. Для застосування статистичних методів необхідно мати інформацію про інструменти КМУП та впливи ММУП. В реальних умовах цього досягти важко. Тому пропонується використати експертні методи для отримання значень суб'єктивних ймовірностей, що визначатимуть можливість отримання потрібних інструментів КМУП під дією впливів ММУП.

1. Формування групи експертів. Пропонується дві групи експертів: експерти науковці (m_n) та практики (m_n). Визначення величини довіри експертам науковцям ($a_i^{\text{наук}}$) та експертам-практикам ($a_i^{\text{практ}}$).

2. Формування множини керованих впливів V_d [10].

3. Експертна оцінка ймовірності формування інструментів КМУП без застосування ММУП (без впливів ММУП).

Експерти вказують суб'єктивні ймовірності того, що наведені інструменти будуть використовуватись і без застосування ММУП.

Результати експертного оцінювання представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати суб'єктивних ймовірностей використання інструментів КМУП без застосування ММУП

Класи інструментів КМУП	Експерт 1	...	Експерт i	...	Експерт $m_n + m_n$
Технічні	$e_{0,1}(1)$	...	$e_{0,1}(i)$	...	$e_{0,1}(m_n + m_n)$
Фінансові	$e_{0,2}(1)$	...	$e_{0,2}(i)$	...	$e_{0,2}(m_n + m_n)$
Методологічні	$e_{0,3}(1)$	...	$e_{0,3}(i)$	...	$e_{0,36}(m_n + m_n)$
Організаційні	$e_{0,4}(1)$	...	$e_{0,4}(i)$	...	$e_{0,4}(m_n + m_n)$

З цієї інформації можна розрахувати середньозважену початкову ймовірність отримання інструментів КМУП:

$$p_{0,j} = \frac{\sum_{i=1}^{m_n} (\alpha_i^{\text{практ}} \cdot e_{0,j}(i)) + \sum_{i=1}^{m_n} (\alpha_i^{\text{наук}} \cdot e_{0,j}(m_n + i))}{\sum_{i=1}^{m_n} \alpha_i^{\text{практ}} + \sum_{i=1}^{m_n} \alpha_i^{\text{наук}}}, \quad (2)$$

де $p_{0,j}$ – середньозважена початкова ймовірність отримання інструменту КМУП I_j .

$\alpha_z^{\text{практ}}$ – коефіцієнт впливу експерта-практика z на рішення;

$\alpha_r^{\text{наук}}$ – коефіцієнт впливу експерта-науковця r на рішення.

Виходячи з того, що впливи ММУП змінюють ймовірності формування інструментів КМУП пропонується наступний **метод управління впливами на формування інструментів КМУП**.

1. Розрахунок нової ймовірності формування інструментів КМУП (під дією впливів).

Для отримання таблиці впливів на підбір інструментів КМУП експерти-практики вказують збільшиться ймовірність (покарається ситуація з впровадженням МУП) чи зменшиться (погіршиться) під дією впливів. Для цього експерти-практики вказують, чи буде впроваджено деякий інструмент КМУП, залежно від дії впливу.

Експерти проставляють значення:

$$\forall v_k \in V, y_{j,i}(v_k) = \{-1, 0, 1\},$$

де $y_{j,i}(v_k) = -1$ – інструмент не буде впроваджено;

$y_{j,i}(v_k) = 0$ – не впливає на впровадження інструменту;

$y_{j,i}(v_k) = 1$ – інструмент буде впроваджено.

Результати впровадження інструментів КМУП, залежно від дії впливів представлені в таблиці 4.

Виходячи з введених експертних оцінок результатів проекту впровадження МУП (див. табл. 4) та враховуючи рівень впливовості цих експертів, отримаємо спільну експертну оцінку можливості формування інструментів КМУП:

$$\overline{p_{0,j}} = 0.5 + \frac{\sum_{i=1}^{m_n} [a_i^{\text{практ}} \cdot \sum_{k=1}^q y_{j,i}(v_k)]}{2 \cdot q \cdot \sum_{i=1}^{m_n} [a_i^{\text{практ}}]} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{m_n} [a_i^{\text{практ}}]}{m_n} = 0.5 + \frac{\sum_{i=1}^{m_n} [a_i^{\text{практ}} \cdot \sum_{k=1}^q y_{j,i}(v_k)]}{2 \cdot q \cdot m_n}, \quad (3)$$

де $\overline{p_{0,j}}$ – відносна суб'єктивна ймовірність впровадження інструменту I_j .

В формулі (3) коефіцієнт

$$\frac{\sum_{i=1}^{m_n} [a_i^{\text{практ}}]}{m_n}$$

визначає міру довіри до всіх експертів (ймовірність того, що вони праві).

Результати відносної суб'єктивної (нової) ймовірності впровадження інструменту I_j представлені в таблиці 5.

Нові ймовірності формування інструментів КМУП дають уявлення про те, наскільки впливатиме ММУП на управління проектом впровадження МУП.

Таблиця 4

Результати експертного оцінювання впливу v_k експертами-практиками (збільшиться чи зменшиться ймовірність формування інструментів КМУП під дією заданого впливу)

Класи інструментів КМУП	α	Експерти-практики				
		E_1	...	E_i	...	E_{m_n}
Технічні	α_1	$y_{1,1}(v_k)$	...	$y_{1,i}(v_k)$	...	$y_{1,m_n}(v_k)$
Фінансові	α_2	$y_{2,1}(v_k)$	...	$y_{2,i}(v_k)$	...	$y_{2,m_n}(v_k)$
Методологічні	α_3	$y_{3,1}(v_k)$	...	$y_{3,i}(v_k)$	...	$y_{3,m_n}(v_k)$
Організаційні	α_4	$y_{4,1}(v_k)$	...	$y_{4,i}(v_k)$	...	$y_{4,m_n}(v_k)$

Таблиця 5

**Нова ймовірність впровадження
інструментів КМУП**

Класи інструментів КМУП	Експертна ймовірність формування інструменту КМУП
Технічні	$\overline{p_{0,1}}$
Фінансові	$\overline{p_{0,2}}$
Методологічні	$\overline{p_{0,3}}$
Організаційні	$\overline{p_{0,4}}$

2. Розрахунок впливу виконаємо через співпадіння початкової ймовірності використання інструментів КМУП, та ймовірності їх використання після впровадження МУП

$$\overline{d_{0,j}} = \begin{cases} 0,5 \cdot \sqrt{\frac{\overline{p_{0,j}} \cdot (1 - p_{0,j})}{p_{0,j} \cdot (1 - \overline{p_{0,j}})} + \frac{p_{0,j} \cdot (1 - \overline{p_{0,j}})}{\overline{p_{0,j}} \cdot (1 - p_{0,j})} - 2}, & p_{0,j} \leq \overline{p_{0,j}} \\ -0,5 \cdot \sqrt{\frac{\overline{p_{0,j}} \cdot (1 - p_{0,j})}{p_{0,j} \cdot (1 - \overline{p_{0,j}})} + \frac{p_{0,j} \cdot (1 - \overline{p_{0,j}})}{\overline{p_{0,j}} \cdot (1 - p_{0,j})} - 2}, & p_{0,j} > \overline{p_{0,j}} \end{cases}, \quad (4)$$

де $\overline{d_{0,j}}$ – величина впливу на впровадження інструменту I_j .

Результат зведемо в таблицю 6.

Таблиця 6

**Вплив на формування інструментів КМУП,
визначений експертами-практиками**

Класи інструментів КМУП	Вплив на формування інструментів КМУП
Технічні	$\overline{d_{0,1}}$
Фінансові	$\overline{d_{0,2}}$
Методологічні	$\overline{d_{0,3}}$
Організаційні	$\overline{d_{0,4}}$

Знаючи суб'єктивну ймовірність формування інструментів КМУП (див. табл. 5) та коефіцієнти важливості цих інструментів (див. табл. 1), можна знайти значення цільової функції (1).

Але таблиця 5 формується на основі інформації експертів-практиків. Тепер важливо ще їх порівняти з думкою експертів-науковців. Але на відміну від практиків, які знають, що буде мінятися в компанії при впровадженні тих чи інших інструментів, науковці швидше можуть оцінити кінцевий результат впровадження (а не його хід). Тому їм

було запропоновано представити результат формування інструментів КМУП в проекті впровадження МУП. Суб'єктивні ймовірності формування інструментів КМУП під дією впливів ММУП представлено у таблиці 7.

Таблиця 7

**Результати експертного оцінювання
впливу v_k експертами-науковцями
(нові суб'єктивні ймовірності формування
інструментів КМУП під дією впливів ММУП)**

Класи інструментів КМУП	α	$p_{0,j}$	Експерти				
			E_1	...	E_i	...	E_{m_n}
Технічні	α_1	$p_{0,1}$	$e_{1,1}(v_k)$	...	$e_{1,i}(v_k)$	...	$e_{1,m_n}(v_k)$
Фінансові	α_2	$p_{0,2}$	$e_{2,1}(v_k)$	...	$e_{2,i}(v_k)$	...	$e_{2,m_n}(v_k)$
Методологічні	α_3	$p_{0,3}$	$e_{3,1}(v_k)$	...	$e_{3,i}(v_k)$	...	$e_{3,m_n}(v_k)$
Організаційні	α_4	$p_{0,4}$	$e_{4,1}(v_k)$	...	$e_{4,i}(v_k)$	...	$e_{4,m_n}(v_k)$

Середньозважена ймовірність формування інструментів КМУП під дією впливу v_k , яка проставляється експертами-науковцями розраховується за формулами:

$$\overline{p_{0,j}(v_k)} = \frac{\sum_{i=1}^{m_n} (\alpha_i^{наук} \cdot e_{j,i}(v_k))}{\sum_{i=1}^{m_n} \alpha_i^{наук}}, \quad (5)$$

де $\overline{p_{0,j}(v_k)}$ – середньозважена ймовірність формування інструменту КМУП I_j після впливу v_k .

По різниці між наведеними в таблицях 3 і 7 ймовірностями (після впливів та до впливів ММУП) визначимо величину самого впливу на формування інструменту КМУП:

$$d_{0,j}(v_k) = \begin{cases} 0,5 \cdot \sqrt{\frac{\overline{p_{0,j}(v_k)} \cdot (1 - p_{0,j})}{(1 - \overline{p_{0,j}(v_k)}) \cdot p_{0,j}} + \frac{(1 - p_{0,j}(v_k)) \cdot p_{0,j}}{\overline{p_{0,j}(v_k)} \cdot (1 - p_{0,j})} - 2}, & p_{0,j}(v_k) \geq p_{0,j} \\ -0,5 \cdot \sqrt{\frac{\overline{p_{0,j}(v_k)} \cdot (1 - p_{0,j})}{(1 - \overline{p_{0,j}(v_k)}) \cdot p_{0,j}} + \frac{(1 - p_{0,j}(v_k)) \cdot p_{0,j}}{\overline{p_{0,j}(v_k)} \cdot (1 - p_{0,j})} - 2}, & p_{0,j}(v_k) < p_{0,j} \end{cases}, \quad (6)$$

де $d_{0,j}(v_k)$ – величина впливу v_k на можливість формування інструменту КМУП I_j .

Тепер визначимо суму всіх впливів

$$\overline{d_{0,j}} = \sum_{k=1}^q d_{0,j}(v_k), \quad (7)$$

де $\overline{d_{0,j}}$ – оцінка експертами-практиками впливу на можливість формування інструменту КМУП I_j .

Загальний вплив визначимо як середнє значення отриманих в (6) та в (7).

$$D_{0,j} = \frac{\overline{d_{0,j}} + \overline{d_{0,j}}}{2}, \quad (8)$$

де $D_{0,j}$ – оцінка експертами-практиками і експертами-науковцями впливу на можливість формування інструменту КМУП I_j .

3. Знаючи початкову суб'єктивну ймовірність формування інструментів КМУП та величину впливу (реалізовану за експертними оцінками), можна визначити ймовірність формування інструменту КМУП:

$$\overline{p_{0,j}} = \frac{p_{0,j} \cdot \left(0,5 + \frac{D_{0,j}}{2 \cdot \sqrt{(D_{0,j})^2 + 1}} \right)}{p_{0,j} \cdot \left(0,5 + \frac{D_{0,j}}{2 \cdot \sqrt{(D_{0,j})^2 + 1}} \right) + (1 - p_{0,j}) \cdot \left(0,5 - \frac{D_{0,j}}{2 \cdot \sqrt{(D_{0,j})^2 + 1}} \right)} = \frac{p_{0,j} \cdot (D_{0,j} + \sqrt{(D_{0,j})^2 + 1})}{p_{0,j} \cdot (D_{0,j} + \sqrt{(D_{0,j})^2 + 1}) + (1 - p_{0,j}) \cdot (\sqrt{(D_{0,j})^2 + 1} - D_{0,j})}, \quad (9)$$

де $\overline{p_{0,j}}$ – спільна оцінка експертами-науковцями та експертами-практиками ймовірності формування інструменту КМУП I_j .

$D_{0,j}$ – оцінка експертами-практиками і експертами-науковцями впливу на можливість формування інструменту КМУП I_j .

$p_{0,j}$ – середньозважена початкова ймовірність отримання інструменту КМУП I_j .

4. Розрахунок значення цільової функції 1 по отриманим ймовірностям впровадження інструментів КМУП.

5. Якщо значення цільової функції більше 0 – відбір впливу.

6. Завершення розрахунку.

Висновки. Виокремлено технічні, фінансові, методологічні та організаційні інструменти КМУП. Введено поняття коефіцієнта важливості інструменту КМУП для проектного управління. Встановлено, що формування та функціонування наведених інструментів залежить від впливів ММУП. Показано, що кожен інструмент КМУП може бути отриманий з деякою ймовірністю, значення якої залежить від впливів ММУП. Запропоновано цільову функцію оцінки змін в ймовірностях отримання інструментів КМУП. Розроблений метод підбору впливів ММУП на формування КМУП, який базується на: визначенні коефіцієнту важливості інструментів КМУП; формуванні групи експертів; формуванні множини керованих впливів; експертному методі формування інструментів КМУП без застосування ММУП та з врахуванням ММУП; розрахунку значення цільової функції впровадження інструментів КМУП. Таким чином можна буде відібрати позитивні впливи ММУП на формування КМУП та реалізувати їх на практиці при створенні систем управління проектами на проектно-орієнтованих підприємствах.

Список літератури

1. Федорчак О. В. Інноваційні інструменти управління цільовими програмами та проектами. *Державне будівництво*. 2012. № 2 С. 2–13.
2. Бондар-Підгурська О. В. Реінжиніринг як універсальний інструмент інноваційного розвитку економіки. *Проблеми економіки*. 2014. № 4. С. 84–90.
3. Бачевська І. П. Інноваційна діяльність в Україні: інструменти та механізми державного впливу. URL: [http://www.dbuara.dp.ua/zbirnik/2014-02\(12\)/11.pdf](http://www.dbuara.dp.ua/zbirnik/2014-02(12)/11.pdf).
4. Медведєва О. М. Фактологічний базис управління взаємодією в проектних ситуаціях. *Управління розвитком складних систем*. 2012. Вип. 10. С. 61–71.
5. Бушуев С. Д., Бушуева Н. С., Неизвестный С. И. Механизмы конвергенции методологий управления проектами. *Управління розвитком складних систем*. 2012. №11. С. 5–13.
6. PM GUIDE 01 Selecting a project management methodology / Enterprise Solutions. – Victorian Government Cio Council, 2014. URL: <http://www.enterprise-solutions.gov.au>.

- tions.vic.gov.au/wp-content/uploads/2014/07/PM-GUIDE-01-Project-management-methodology-selection-guideline.pdf.
7. Тесля Ю. М., Хлевна Ю. Л. Структура знань в мета-методології управління проектами. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 29. С. 78–85.
 8. Хлевна Ю. Л. Створення та використання мета-методології управління проектами в умовах кризи. *XVI Міжнародна науково-практична конференція: Управління проектами розвитку суспільства, КНУБА* – С. 199 – 200.
 9. Тесля Ю. М., Хлевна Ю. Л., Оберемок Н. В. Управління створенням конкретизованої методології управління проектами. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Ч.1: Серія «Технічні науки»* К.: НТУ, 2016. Вип. 18. С. 115–125.
 10. Тесля Ю. М., Хлевна Ю. Л., Єгорченкова Н. Ю., Кошелева Д. І. Впливи на формування конкретизованої методології управління проектами. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. № 2. С. 45–54.
 4. Medvedeva, O. M. (2012) Factual basis of interaction management in design situations. *Management of complex systems development, exp.* 10, pp. 61–71 [in Ukrainian].
 5. Bushuev, S. D., Bushueva, N. S., Neizvesniy, S. I. (2012). Convergence mechanisms of project management methodologies. *Management of development of complex system*, 11, 5–13 [in Russian].
 6. PM GUIDE (2014) 01 Selecting a project management methodology. Enterprise Solutions. – Victorian Government Cio Council, URL:<http://www.enterprisesolutions.vic.gov.au/wp-content/uploads/2014/07/PM-GUIDE-01-Project-management-methodology-selection-guideline.pdf>.
 7. Teslya, I. M., Khlevna, Iu. L. (2017) Knowledge structure in meta-methodology of project management *Management of the development of complex systems*. No. 29, pp. 78–85 [in Ukrainian].
 8. Khlevna Iu. L., Teslya I. M. (2017) Creation and use of meta-methodology of project management in a crisis. *XVI International Scientific and Practical Conference: Project Management of Society Development*, KNUBA, pp. 199–200 [in Ukrainian].
 9. Teslya I. M., Khlevna Iu. L., V. Oderembok (2016) Management of the development of a specified methodology of project management. *Project Management, System Analysis and Logistics. Part 1: Series «Technical sciences»*, Vip. 18, K.: NTU, pp. 115–125 [in Ukrainian].
 10. Teslya I. M., Khlevna Iu. L., Yehorchenkova N. I. (2017) Influences on the Formation of a Specified Project Management Methodology. *Bulletin of the Cherkasy State Technological University. Series: Engineering*, No. 2, pp. 45–54.

References

Iu. L. Khlevna, Ph.D.,
 e-mail: yuliya.khlevna@gmail.com
 Taras Shevchenko National University
 of Kyiv Volodymyrska str., 60, Kyiv, 01033

METHOD OF EVALUATION AND MANAGEMENT OF EFFECTS ON FORMATION OF CUSTOMIZED PROJECT MANAGEMENT METHODOLOGY

Project management meta-methodology (PMMM) is based on formalized tools of influence on different processes related to the implementation of project management methodology at a project-oriented enterprise. It is the main tool for influencing project-oriented enterprises in order to improve all management processes. The result of using PMMM is the creation of a concretized project man-

agement methodology (CMMM) that integrates tools, processes, knowledge of existing project management methodologies with the knowledge, tools and processes of a particular enterprise. In essence, it allows to choose exactly those tools that most influence the efficiency of the project-oriented enterprise. At the same time, an important role in forming the CMMM tools is played by influences. Since PMMM is a system of influences, the formation of tools is also based on them, in other words, the influences of the PMMM form the tools of the CMMM.

The aim of the paper is to develop a method for selecting the impacts of PMMM on the forming of tools that will lead to the creation of a concretized methodology for project management that will improve the efficiency of enterprise project management.

Organizational, technical, financial and methodological classes of CMMM tools are defined in this paper. It is shown that the formation and functioning of the given classes of tools depends on the influence of the PMMM. The concept of the importance of the CMMM tool for project management is introduced. Coefficient of the importance will ensure the identification of those tools that are needed in the implementation of the PMMM. It is shown that each CMMM tool can be obtained with a certain probability, the value of which depends on the influence of PMMM. The objective function of estimating changes in probability of obtaining CMMM tools is proposed. The impact of the PMMM will lead to changes in the likelihood of forming CMMM tools. After these changes the target value of the objective function will or will not be achieved.

The method of selection of influences of PMMM on the formation of CMMM is developed, which is based on: determination of the coefficient of importance of CMMM tools; formation of a group of experts; formation of a plurality of controlled influences; expert method of forming CMMM tools with and without taking into account PMMM; calculation of the value of the target function of implementing CMMM tools. This will allow to define the positive impacts of the PMMM on the formation of CMMM and implement them when creating project management systems at project-oriented enterprises.

Keywords: project management meta-methodology, concretized project management methodology, impact, meta-methodology tools, projects, project management.

Н. Ю. Єгорченкова¹, к.т.н., доцент

e-mail: realnata@ukr.net

О. В. Єгорченков¹, к.т.н., доцент

e-mail: alexee@ukr.net

Є. Ю. Катаєва², к.т.н., доцент

e-mail: kataevae@ukr.net

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка

01601, Київ, Володимирська, 60/13

² Черкаський державний технологічний університет

18000, Черкаси, бульвар Шевченка, 460

СУЧАНІ ТРЕНДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПРОЕКТНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ У СВІТІ

Ціллю статті є виклад аналізу сучасних трендів та перспектив проектного менеджменту у світі. В сучасній економі, яка характеризується глобалізацією, аутсорсингом, посиленням конкуренції і швидкістю обслуговування нематеріальних активів, таких як знання і ноу-хау, стають ключовими фактори розвитку та виживання підприємств. Досліджено тенденції розвитку сфери інформаційних технологій у світі. На основі аналізу щорічних звітів таких світових лідерів в ІТ сфері, як Gartner, IDC та Microsoft визначено, що головними трендами у сучасному суспільстві є цифрова трансформація, хмарні технології, інтелектуалізація програмних засобів, тощо. Враховуючи те, що процеси управління проектами безпосередньо залежать від розвитку ІТ технологій, був зроблений висновок, що, проектний менеджмент у всьому світі теж чекає цифрова трансформація. І шляхом до такої трансформації є інструменти управління в віртуальному середовищі з мінімальною участю людей – цифровий проектний менеджмент.

Ключові слова: цифровий проектний менеджмент, інформаційні технології, Microsoft Inc., Gartner, IDC.

Постановка проблеми. В сучасній економі, яка характеризується глобалізацією, аутсорсингом, посиленням конкуренції і швидкістю обслуговування нематеріальних активів, таких як знання і ноу-хау, стають ключовими факторами розвитку та виживання підприємств. В цьому бізнес середовищі, яке ґрунтується на технологіях, проекти через їх складність і розміри повинні широко застосовувати технології і інструменти. Крім того, переваги інформаційних технологій (далі – ІТ) заохочують спільні проектні групи до застосування технологій для сумісної роботи і комунікацій.

Бізнес стає все більш продуманим, а глобальні витрати на проекти становлять багато мільярдів доларів на рік [1]. Причини очевидні. Проекти, направлені на впровадження стратегічних цілей проектно-орієнтованого підприємства, розробляються для розробки продуктів та послуг і підвищення ефективності роботи. Проекти також використовуються для впровадження нових процесів, розширення капіталу і управління часом виходу на ринок для нових продуктів [2].

Не дивлячись на широкий розвиток управління проектами (далі – УП), загальний досвід свідчить про те, що багато проектів зазнають невдачі [1], що підкреслює необхідність та важливість вдосконалення процесів управління проектами і продуктивності.

Проектно-орієнтовані підприємства інвестують в засоби і методи УП, такі як комп'ютерне програмне забезпечення для складного планування та відслідковування бюджету в складних організаційних процесах [3]. Однак технологія сама по собі не є рішенням для підвищення ефективності проекту. Основуючись на результатах досліджень [4–8], очевидно, що технологічна роль обмежена підтримкою складних проблем та процесів. Автори [9] помітили, що люди та процеси знаходяться в центрі управління проектами, а не інструменти та технології. Однак технології і інструменти необхідні для ефективного управління командами та проектами [10].

Розглянуті напрями досліджень та можливості розвитку інформаційних технологій та методологій УП вимагають більш детального аналізу існуючих методів та засобів, які мож-

на було б віднести до нової ери розвитку проектного менеджменту – ери цифрового управління проектами.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Глобалізація і філософія вільного ринку, які формують нинішню економіку, викликають більше проблем, чим коли-небудь. В результаті конкуренція примушує організації розробляти продукти та послуги швидше, дешевше та краще, щоб зберегти конкурентні переваги на ринку. Для досягнення та підтримки конкурентної переваги на ринку. Для досягнення та підтримки конкурентної переваги проектно-орієнтовані підприємства зосереджені на розвитку УП, інтеграції інформаційних технологій та рішенні складних задач, одночасно підвищуючи ефективність та інновації [10].

Процес розвитку проектного менеджменту є невід'ємним від розвитку інформаційних технологій. І світові тренди ІТ сфери диктують правила для створення технологій і інструментів управління проектами [11–14]. Тому, спочатку необхідно визначити напрямки, в якому рухається ІТ індустрія і таким чином зрозуміти, які дослідження та розробки необхідні для успішного розвитку управління проектами.

Формулювання цілей статті. Метою статті є виклад аналізу сучасних трендів та перспектив проектного менеджменту у світі.

Основний матеріал досліджень. Для розуміння трендів в сфері інформаційних технологій необхідно розглянути аналітику таких світових лідерів, як Microsoft, Gartner та IDC.

1. Корпорація Microsoft – одна з найбільших корпорацій світу, що розробляє програмне забезпечення. Підрозділи компанії також виробляють сімейство ігрових консолей Xbox, а з недавнього часу – власні планшети Surface. Продукція Microsoft продається більш ніж в 80 країнах світу, програми перекладені більш ніж на 45 мов [15].

Microsoft була заснована Паулом Алленом та Біллом Гейтсом 4 квітня 1975 року для розробки та продажу інтерпретаторів BASIC для Altair 8800. У середині 1980-х років він став панувати на ринку операційних систем для персональних комп'ютерних систем з MS-DOS, а потім Microsoft Windows. Початкова публічна пропозиція компанії в 1986 році та подальше зростання цін на акції створили трьох мільярдерів і близько 12 тисяч мільйонерів серед співробітників

Microsoft. Починаючи з 90-х років, він все більше диверсифікував свою діяльність від ринку операційних систем та здійснив ряд корпоративних поглинань – найбільше їх було придбання LinkedIn за 26.2 мільярдів доларів у грудні 2016 року, а в травні 2011 року компанія Skype Technologies стягнула 8.5 мільярдів доларів [16].

Щороку корпорація Microsoft надає **Annual Report**, в якому відображається стан компанії, основні фінансові моменти, фінансовий огляд, персонал, а також відносини з інвесторами.

У звітах (2014–2017 рр.) зазначено, що основними можливостями та інвестиціями корпорації є наступні напрямки:

– *Цифрова робота.* Інтеграція програмних та інструментальних засобів для забезпечення цифрового образу життя користувачів.

– *Хмарні технології.* Перехід до хмари обумовлений трьома важливими ефектами масштабу: більші центри обробки даних можуть розгортати обчислювальні ресурси зі значно меншими витратами на одиницю, ніж менші; більші центри обробки даних можуть координувати і узагальнювати різноманітні клієнтські, географічні та прикладні моделі, що покращують використання обчислювальних ресурсів, сховищ і мережевих ресурсів; і розрахована на багатокористувацьку діяльність знижує витрати на технічне обслуговування додатків для великих громадських хмар. Хмара створює можливість для підприємств зосередитися на інноваціях, залишивши недиференційовану діяльність надійним і економічним провайдером.

– *Операційні системи та обладнання.* Розвиток Windows шляхом покращення таких властивостей, як безпечність, керованість і придатність операційної системи для потреб сучасної робочої сили. Створення широких можливостей розробника, що дозволяє універсальним додаткам Windows працювати з усіма об'єктами пристрою. Розробка нових методів введення/виводу, такі як ручка та жест, для забезпечення більших можливостей для персональних комп'ютерів [17].

Також Microsoft виділяє **цифрову трансформацію** «digital transformation» як важливу стратегією розвитку бізнесу у світі.

Цифрова трансформація – це зміна, пов'язана з застосуванням цифрових технологій у всіх аспектах людського суспільства. Етап трансформації означає, що цифрові ко-

ристування за своєю природою дають нові види інновацій та творчості в певній області, а не просто покращують та підтримують традиційні методи. У вузькому сенсі «цифрове перетворення» може посилається на поняття «безпаперові», що впливає як на індивідуальний бізнес, так і на цілі сегменти суспільства, такі як уряд, масові комунікації, мистецтво, медицина, і наука [18].

У 2016 р. на сайті Microsoft було опубліковано статистику переходу компаній на цифрове перетворення [19], в якій було зазначено:

- 55% компаній, які не мають існуючої програми цифрової трансформації, кажуть, що терміном на її прийняття є рік або менше [20].

- 33% компаній розробляють свої плани по цифрових перетвореннях, але вони не будуть виконуватися протягом наступних 12 місяців [20].

- 92% бізнесу кажуть, що інтелектуальна автоматизація (комбіноване використання штучного інтелекту і автоматизації) буде більш широко використовуватися в рамках своєї компанії протягом наступних 12 місяців [21].

- До 2018 року не менше 20% всіх працівників будуть використовувати автоматизовані технології допомоги для прийняття рішень і виконання роботи [22].

- Переваги, які вже свідчать про зусилля щодо цифрової трансформації: збільшення частки ринку (41%), збільшення зацікавленості клієнтів у цифрових каналах (37%), більш позитивний моральний дух працівників (37%), більшу активність в Інтернеті та мобільних пристроях (32%), дохід (30%) [23].

У звіті «Digital Transformation Report 2017» [24] показані переваги цифрової трансформації та шляхи до оцифрування бізнесу на прикладі датських компаній.

2. Gartner Inc. – провідна світова дослідницька і консалтингова компанія у сфері інформаційних технологій. Заснована в 1979, з головним офісом у Стенфорд, штат Коннектикут, США. До 2001 року була відома як Gartner Group. В 2009 Gartner має 60 000 клієнтів з 10 000 різних організацій.

Gartner відома введенням у вжиток поняття ERP і регулярними дослідними звітами в форматах «магічний квадрант» і «цикл хайпа». Дослідженням Gartner регулярно присвячуються статті в таких виданнях, як Financial Times [25], The Wall Street Journal [26], The

New York Times [27], Der Spiegel [28], The Register [29-30], ZDNet [31]. Поряд з IDC і Forrester вважається ключовим дослідником ринків IT [32-33].

За результатами аналізу Hype Cycle Gartner Reports з 2014 по 2017 рік були виділені наступні напрямки розвитку IT сфери: цифровий бізнес (2014 р., 2015 р.), стирання кордонів між людьми, організаціями та розумними речами, інтелектуальні машини та екосистемна платформа (2016 р.), управління даними (вбудовану пам'ять, хмарність, віртуалізацію даних, розширену аналітику, дані як службу, машинне навчання, графіку) для переходу до цифрового бізнесу (2017 р.) [34-35].

- **Цифровий бізнес** фокусується на зближенні людей, бізнесу і речей. Інтернет речей і концепція розмивання фізичних і віртуальних світів являються сильними концепціями цифрового бізнесу. Фізичні активи стають цифровими і стають рівноправними учасниками ланцюжка створення вартості бізнесу поряд з вже цифровими об'єктами, такими як системи і додатки. Тривимірний друк додатково використовує цифрову обробку фізичних елементів і надає можливості для руйнівних змін в ланцюжку поставок і виробництва. Здатність оцифровувати атрибути людей (наприклад, життєво важливі ознаки здоров'я) також є частиною цифрового бізнесу. Навіть валюта (яка часто вважається цифровою) може бути перетворена (наприклад, криптовалюта).

Критичні технології: Біоакустичне зондування; Цифрова безпека; Розумні робочі місця; З'єднаний будинок; 3D системи біологічного друку; Афективне обчислення; Переклад мовлення до мови; Інтернет речей; Криптовалюта; Носимий інтерфейс користувача; Споживач 3D-друк; Комунікаційні сервіси; Мобільний моніторинг здоров'я; Підприємство 3D-друк; 3D-сканери; Споживча телематика [36].

- **Прозорий завантажений досвід (Transparently Immersive Experiences).** Технологія продовжуватиме ставати більш орієнтованою на людину до того моменту, коли вона забезпечить прозорість між людьми, бізнесом та речами. Ці відносини ще більше переплетуться одна з одною, стануть більш залежними одна від одної, оскільки еволюція технологій стає більш адаптованою, контекстуальною та «живою» на робочому місці, вдома та «людянішою» в рамках взаємодії з бізнесом та іншими людьми.

Критичні технології. 4D-друк, мозковий комп'ютерний інтерфейс, збільшення людського потенціалу, об'ємні дисплеї, машинне навчання, ефективне обчислення, з'єднаний будинок, електроніка Nanotube, доповнена реальність, віртуальна реальність, пристрої управління жестом [37].

– **Інтелектуальні машини.** Інтелектуальні машини стануть поширеним класом технологій протягом найближчих 10 років завдяки радикальній обчислювальній потужності, нескінченному обсягу даних та небувалим досягненням у глибоких нейронних мережах, що дозволить організаціям, які використовують інтелектуальні машинні технології, використовувати дані для того, щоб адаптуватися до нових ситуацій і вирішувати проблеми, з якими ніхто раніше не стикався.

Критичні технології. Smart Dust, Машинне навчання, Віртуальний персональний помічник, Когнітивні експерти, Інтелектуальне знаходження даних, Розумне робоче місце, Розмовні інтерфейси користувача, Розумні роботи, Автономні транспортні засоби, Персональний аналітик, Систематика підприємства та онтологія менеджменту [37].

– **Цифрова платформа.** Нові технології революціонізують концепції визначення та використання платформ. Перехід від технічної інфраструктури до екосистемних платформ є основою для цілком нових бізнес-моделей, які формують міст між людьми та технологіями. У межах цих динамічних екосистем організації повинні активно розуміти та перевизначати свою стратегію створення платформних бізнес-моделей, а також використовувати внутрішні та зовнішні алгоритми для створення цінності.

– **Критичні технології.** Нейроморфні апаратні засоби, квантові обчислення, Blockchain, IoT платформа [37].

– **Управління даними для переходу до цифрового бізнесу.** «Управління даними продовжує залишатися центральним елементом для руху до цифрового бізнесу. Оскільки вимоги змінюються в рамках архітектури організації та підвищують вимоги до основних технологій, зрілість та можливості багатьох технологій, виділених в циклі обміну, швидко просунуться», – сказав Дональд Фейнберг, віце-президент та видатний аналітик Gartner. «В останні роки з'явилося багато нових доповнень до циклу реклами, включаючи вбудовану пам'ять, хмарність, віртуалізацію даних, розширену аналітику, дані як службу, машинне

навчання, графіку, не реляційні та Hadoop. [38].

Результат аналізу Hype Cycle Reports of Gartner показав, що ІТ сфера розвивається і буде розвиватися в напрямку переходу до цифрового бізнесу через інтелектуальні програмні засоби, хмарні технології та створення зв'язку між бізнесом, людьми та речами [39].

3. International Data Corporation (далі – IDC) – міжнародна дослідницька і консалтингова компанія, заснована в 1964 році, що займається вивченням світового ринку інформаційних технологій і телекомунікацій. За власними даними, на IDC працюють понад 1100 аналітиків в 110 країнах світу, які збирають і обробляють інформацію про місцеві ринки ІТ [40].

Аналіз та розуміння компанії IDC допомагають фахівцям з інформаційних технологій, керівникам підприємств та інвестиційному співтовариству приймати технологічні рішення на основі фактичних рішень та досягти ключових бізнес-цілей. IDC, заснована в 1964 році, є дочірньою компанією International Data Group, провідною світовою компанією, що займається даними та маркетингом, яка активує і залучає найвпливовіших покупців техніки [41].

Аналіз звітів IDC з 2014 по 2016 роки показав наступні напрямки розвитку ІТ індустрії (табл. 1).

Таблиця 1

Звіти IDC 2014-2016 рр.

Рік	Тренд
2014	- Загальні обсяги витрат на інформаційні технології зростуть на 5,1% до 2,14 трлн. дол., прибутки від ПК зменшаться на 6%. - Android збереже свою перевагу над Apple. - Витрати на хмарні сервіси та технології для надання цих послуг «зростуть на 25% у 2014 році, досягнувши більш ніж 100 мільярдів доларів». - Розвиток хмарних сервісів обслуговування. - Розвиток великих даних. - Посилення інтеграції соціальних технологій у існуючі корпоративні програми. - Поява Інтернету речей. - Оцифровка всіх галузей промисловості [42].

Продовження табл. 1

Рік	Тренд
2015	- Нові партнерські відносини, щоб перефарбовувати ландшафт хмарних обчислень. - Дані-як-Сервіс потягне нові великі ланцюги постачання даних. - Інтернет речей буде продовжувати швидко розширювати традиційну IT-індустрію. - Хмарні сервісні служби стануть новим центром обробки даних, перетворюючи IT-ландшафт. - Швидке розширення галузевих цифрових платформ. - Прийняття нових інновацій в сфері безпеки та друку. - [43].
2016	- Кожна компанія буде програмною компанією. - Хмара стане новим IT. - Великі дані стають все більшими і дорожчими. - IT буде ключовим фактором цифрового перетворення економіки. - IDC прогнозує, що цифрова трансформація буде ключовою стратегією для 67% глобального 2000 року до 2018 року, і що до 2017 року понад 50% IT-бюджету буде витрачено на нові технології [44].

У 2017 році IDC був наданий звіт **IDC FutureScape: Worldwide IT Industry 2018 Predictions** [45], в якому були надані прогнози розвитку IT індустрії.

У цьому дослідженні IDC обговорюються прогнози, які ще раз становлять стратегічний план для підприємств по шляху їх цифрової трансформації (далі – ЦТ), в якому основна увага приділяється 10 ключовим компонентам для становлення цифрового підприємства. Шість з цих тем продовжуються з минулого року, але будуть демонструвати значне прискорення і еволюцію з 2018 року і далі. В інших чотирьох прогнозах вводяться критичні нові будівельні блоки для становлення цифрових підприємств.

– **Прогноз 1:** до 2021 року, принаймні 50% світового ВВП буде оцифрований, з ростом в кожній галузі, керованою цифровим розширенням пропозицій, операцій та відносин; до 2020 року інвестори використовуватимуть платформу, вартість даних та по-

казники взаємодії з клієнтами як фактори оцінки для всіх підприємств.

– **Прогноз 2:** до 2020 року 60% усіх підприємств повністю підготують загальнодержавну стратегію цифрової трансформації та будуть реалізовувати цю стратегію як новий інформаційний центр для конкуренції в цифровій економіці.

– **Прогноз 3:** до 2021 року витрати підприємств на хмарні послуги і хмарне обладнання, програмне забезпечення та послуги будуть більші ніж удвічі перевищувати 530 мільярдів доларів, використовуючи диверсифікацію хмарного середовища.

– **Прогноз 4:** до 2019 року 40% цифрових трансформаційних ініціатив використовуватимуть послуги штучного інтелекту; до 2021 року 75% програм комерційних підприємств використовуватимуть штучний інтелект, понад 90% споживачів взаємодіють з ботами для підтримки клієнтів, і більше 50% нових промислових роботів використовуватимуть штучний інтелект.

– **Прогноз 5:** до 2021 року додатки підприємства будуть змінюватися до Hyper Agile архітектур, разом з розробкою додатків на хмарних платформах (80%) за допомогою мікросервісів та хмарних функцій (наприклад, функцій AWS Lambda і Azure) та більше 95% нових мікросервісів, що розгортаються в контейнерах (наприклад, Docker).

– **Прогноз 6:** до 2020 року людиноцифрові інтерфейси будуть різноманітні, оскільки 25% технічних працівників галузі та більше 25% інформаційних працівників використовують розширену реальність; майже 50% нових мобільних додатків використовують голос як первинний інтерфейс та 50% Consumer-Facing G2000 використовує біометричні датчики для персоналізації досвіду.

– **Прогноз 7:** до 2021 року, принаймні 25% G2000 використовуватимуть служби Blockchain [47] як фундамент цифрового довіри в масштабі; до 2020 року 25% топ-глобальних банківських операцій, майже 30% виробників та роздрібних торговців, а також 20% організацій охорони здоров'я будуть використовувати мережі Blockchain у виробництві.

– **Прогноз 8:** до 2020 року 90% великих підприємств отримають прибуток від даних як сервісу – від продажу сировини, похідних показників, статистичних даних та рекомендацій – з майже 50% у 2017 році.

– **Прогноз 9:** Покращення в простих інструментах («Низький код / без коду») значно розширять кількість розробників Nontech протягом наступних 36 місяців; до 2021 року, ці нетрадиційні розробники побудують 20% бізнес-додатків і 30% нових можливостей додатків (60% до 2027 року).

– **Прогноз 10:** До 2021 року більше половини з G2000 бачитимуть в середньому одну третину своїх цифрових послуг. Взаємодія через їх відкриті API-інтерфейси, аж до практично 0% в 2017 році – посилення їх цифрового охоплення далеко за межами їх власних взаємодій з клієнтами.

На основі аналізу світових лідерів ІТ індустрії виділені такі тренди розвитку інформаційних технологій (табл. 2):

Таблиця 2

Тренди ІТ сфери

Компанія	Micro- soft	Gartner Inc.	IDC
Напрямок			
Хмарні технології			
Цифрова трансформація			
Розвиток операційних систем			
Штучний інтелект			
Прозорий завантажений досвід			
Інтернет речей			
Дані як сервіс			

Як видно на матриці, найбільш узгодженим трендом в ІТ сфері є цифрова трансформація. На другому місці – хмарні технології. По інших напрямках прогнози світових лідерів ІТ індустрії розходяться.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Тепер, через призму сучасних тенденцій розвитку інформаційних технологій, можна розглянути майбутнє управління проектами.

Безумовно, проектний менеджмент у всьому світі теж чекає цифрова трансформація. І шляхом до такої трансформації є інструменти управління в віртуальному середовищі без людей – цифровий проектний менеджмент.

Отже, перспективою для подальших досліджень є визначення, які на сьогодні існують дослідження в сфері цифрового проектного менеджменту.

Список літератури

1. Williams T. Assessing and moving on from the dominant project management discourse in the light of project overruns. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2005. 52(4). P. 497–508.
2. Birk J. A corporate project management council. *Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference*, 1990. pp. 180–181.
3. Thamhain H. Effective project leadership in complex self-directed team environments. *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE Computer Society*, 1999. pp. 7064–7085.
4. Marchand D. A., Kettinger W. J., Rolins J. D. Information orientation: People, technology and the bottom line *Sloan Management Review*, 2000. 41(4). P. 69–80.
5. Anderson M. C., Banker R. D. & Ravindran S. The new productivity paradox. *Communications of the ACM*, 2003. 46(3). P. 91–94.
6. Brynjolfsson E., Hitt L. M. Beyond the productivity paradox. *Communications of the ACM*, 1998. 41(8). P. 49–55.
7. King W. R. IT capabilities, business processes, and impact on the bottom line. *Information Systems Management*, 2002. 19(2). P. 85–87.
8. Anantatmula V., Kanungo S. Role of information technology and knowledge management in influencing project performance. *Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference*, 2005. Pp. 599–603.
9. Nidiffer K., Dolan D. Evolving distributed project management. *IEEE Software*, 2005. 22(5). P. 63–72.
10. Anantatmula V. S. The role of technology in the project manager performance model. *Project Management Journal*, 2008. 39(1). P. 34–48.
11. Хвостиков А. В. О системах управления проектами на базе программных комплексов. *Вестник Пензенского государственного университета*, 2016. №1(13). С. 71–75.

12. Старков, А. Н. Облачные технологии в управлении проектами. *Экономика и управление: проблемы, тенденции, перспективы развития : материалы V Международ. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 3 февр. 2017 г.)* / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. С. 255–258.
13. Каверіна С. Ю., Башинська І. О. Інформаційні технології в управлінні проектами. *Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці*, 2017. №10. С. 883–887
14. Жбанова, Е. А. История и современные тенденции развития информационных технологий. *Вестник ЧумГУ*. №4 (55). С. 55–59.
15. Microsoft. URL: <http://file.liga.net/company/39477-microsoft.html>
16. Microsoft. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft>
17. Microsoft. Annual report 2016. URL: <https://www.microsoft.com/investor/reports/ar16/index.html>
18. Digital Transformation. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_transformation
19. Statistics Shaping Digital Transformation Fortunes URL: <https://cloudblogs.microsoft.com/dynamics365/2016/09/30/21-statistics-shaping-digital-transformation-fortunes/>
20. State of digital business. 2016 report. URL: <https://www.progress.com/papers/state-of-digital-business-2016-report>
21. Intelligent Automation: The essential new co-worker for the digital age. URL: <https://www.accenture.com/us-en/insight-intelligent-automation-technology>
22. IDC FutureScape: Worldwide Digital Transformation 2016 Predictions, 2015
23. What's Driving Digital Transformation Across Organizations? URL: <http://www2.prophet.com/The-2016-State-of-Digital-Transformation>
24. Digital Transformation Report 2017. URL: <https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/EN-CNTNT-SlideDeck-DigitalTransformationReport.pdf>
25. Stafford P. You can believe the Hype Cycle's take on technology (англ.). *Financial Times*, 2008. No. May 30.
26. Gartner Eases Forecast for IT Decline (англ.). *The Wall Street Journal*. 2009. No. 19 (October).
27. Gartner, Inc. News (англ.). The New York Times. 2011.
28. Honsel, G. Die Hype-Zyklen neuer Technologien (нем.). *Der Spiegel*. 2006. Nr. Oktober.
29. Whitehorn, M. Is Gartner's Magic Quadrant really magic? (англ.). *The Register*, 2007. No. March, 31
30. Clarke, G. Amazon killer erupts from Icelandic volcanos (англ.). *The Register*, 2011.
31. Dignan, L. Gartner's top 10 technologies for 2011 (англ.). *ZDNet*. 2010.
32. Kanarakus, C. Gartner buying AMR Research in \$64M deal (англ.). *Computerworld*. 2009.
33. IDC overtakes HfS in 2017 global Analyst Firm Awards (англ.). *Influencer Relations*. 2017.
34. Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage. URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3412017>
35. Gartner Reveals the 2017 Hype Cycle for Data Management. URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3809163>
36. Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor. URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>
37. Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>
38. International Data Corporation. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/International_Data_Corporation (рос.)
39. International Data Corporation. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Data_Corporation (англ.).
40. IDC: Top 10 Technology Predictions For 2014. URL: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2013/12/03/idc-top-10-technology-predictions-for-2014/#3085f94d292a>
41. IDC: Top 10 Technology Predictions For 2015. URL: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2014/12/02/idc-top-10-technology-predictions-for-2015/#332b2eaf3cef>
42. Transform Or Die: IDC's Top Technology Predictions For 2016. URL: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2015/11/10/transform-or-die-idcs-top-technology-predictions-for-2016/#7673635219a2>

43. IDC FutureScape: Worldwide IT Industry 2018 Predictions. URL: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US43171317>
44. Blockchain. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain>
45. What is Electronic Project Management. URL: <https://www.igi-global.com/dictionary/electronic-project-management/9518>
46. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М.: Физматгиз, 1963. 552 с.
47. Методы классической и современной теории автоматического управления. – Т.5: Синтез регуляторов систем автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2004. 616 с.
- knowledge management in influencing project performance. Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference, pp. 599–603.
9. Nidiffer, K., & Dolan, D. (2005). Evolving distributed project management. IEEE Software, 22(5), 63–72.
10. Anantatmula, V. S. (2008). The role of technology in the project manager performance model. Project Management Journal, 39(1), pp. 34–48.
11. Khvostikov, A. V. (2016). About project management systems based on software complexes. Bulletin of the Penza State University, No. 1 (13), P. 71–75.
12. Starkov A.N. & Skokova I.K. (2017) Cloud technologies in project management. Economics and management: problems, trends, development prospects: materials V Intern. scientific-practical. Conf. (Cheboksary, February 3, 2017) / rare: O. N. Shirokov [and others]. Cheboksary: CNS Interactive Plus, pp. 255–258.

References

1. Williams, T. (2005). Assessing and moving on from the dominant project management discourse in the light of project overruns. IEEE Transactions on Engineering Management, 52(4), pp. 497–508.
2. Birk, J. (1990). A corporate project management council. Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference, pp. 180–181.
3. Thamhain, H. (1999). Effective project leadership in complex self-directed team environments. Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE Computer Society, pp. 7064–7085.
4. Marchand, D. A., Kettinger, W. J., & Rollins, J. D. (2000). Information orientation: People, technology and the bottom line. Sloan Management Review, 41(4), 69–80.
5. Anderson, M. C., Banker, R. D., & Ravindran, S. (2003). The new productivity paradox. Communications of the ACM, 46(3), pp. 91–94.
6. Brynjolfsson, E., & Hitt, L. M. (1998). Beyond the productivity paradox. Communications of the ACM, 41(8), pp. 49–55
7. King, W. R. (2002). IT capabilities, business processes, and impact on the bottom line. Information Systems Management, 19(2), pp. 85–87.
8. Anantatmula, V., & Kanungo, S. (2005). Role of information technology and
13. Kaverina, S. Yu. & Bashinsky, I. O. (2017) Information technology in project management. Mathematical Methods, Models and Information Technologies in Economics, №10, C. 883–887
14. Zhbanova, E. A. History and modern trends in the development of information technology. Bulletin of the Chita State University, No.4 (55), P. 55–59.
15. Microsoft. Retrieved from: URL: <http://file.liga.net/company/39477-microsoft.html>
16. Microsoft. Retrieved from: URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft>
17. Microsoft. Annual report 2016. Retrieved from: URL: <https://www.microsoft.com/investor/reports/ar16/index.html>
18. Digital Transformation. Retrieved from: URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_transformation
19. Statistics Shaping Digital Transformation Fortunes. Retrieved from: URL: <https://cloudblogs.microsoft.com/dynamics365/2016/09/30/21-statistics-shaping-digital-transformation-fortunes/>
20. State of digital business. 2016 report. Retrieved from: URL: <https://www.progress.com/papers/state-of-digital-business-2016-report>

21. Intelligent Automation: The essential new co-worker for the digital age. Retrieved from: URL: <https://www.accenture.com/us-en/insight-intelligent-automation-technology>
22. IDC FutureScape: Worldwide Digital Transformation 2016 Predictions, 2015
23. What's Driving Digital Transformation Across Organizations? Retrieved from: URL: <http://www2.prophet.com/The-2016-State-of-Digital-Transformation>
24. Digital Transformation Report 2017 Retrieved from: URL: <https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/EN-CNTNT-SlideDeck-DigitalTransformationReport.pdf>
25. Stafford, Philip (2008). You can believe the Hype Cycle's take on technology. Financial Times. No. May 30.
26. Gartner Eases Forecast for IT Decline (2009). The Wall Street Journal, No. 19 (October).
27. Gartner, Inc. News (2011). The New York Times.
28. Honsel, Gregor (2006). Die Hype-Zyklen neuer Technologien. Der Spiegel. Nr. Oktober.
29. Whitehorn, Mark (2007) Is Gartner's Magic Quadrant really magic? The Register, No. March, 31.
30. Clarke, Gavin (2011) Amazon killer erupts from Icelandic volcanos. The Register.
31. Dignan, Larry (2010). Gartner's top 10 technologies for 2011. ZDNet (1 October 2010).
32. Chris Kanarakus (2009). Gartner buying AMR Research in \$64M deal. Computer-world (1 December 2009).
33. IDC overtakes HfS in 2017 global Analyst Firm Awards (2017). Influencer Relations (12 January 2017).
34. Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage. Retrieved from: URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3412017>
35. Gartner Reveals the 2017 Hype Cycle for Data Management. Retrieved from: URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3809163>
36. Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor. Retrieved from: URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>
37. Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017 Retrieved from: URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>
38. International Data Corporation Retrieved from: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/International_Data_Corporation
39. International Data Corporation. Retrieved from: URL: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Data_Corporation
40. IDC: Top 10 Technology Predictions For 2014. Retrieved from: URL: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2013/12/03/idc-top-10-technology-predictions-for-2014/#3085f94d292a>
41. IDC: Top 10 Technology Predictions For 2015. Retrieved from: URL: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2014/12/02/idc-top-10-technology-predictions-for-2015/#332b2eaf3cef>
42. Transform Or Die: IDC's Top Technology Predictions For 2016. Retrieved from: URL: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2015/11/10/transform-or-die-idcs-top-technology-predictions-for-2016/8/#7673635219a2>
43. IDC FutureScape: Worldwide IT Industry 2018 Predictions. Retrieved from: URL: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US43171317>
44. Blockchain. Retrieved from: URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain>
45. What is Electronic Project Management. Retrieved from: URL: <https://www.igi-global.com/dictionary/electronic-project-management/9518>
46. Feldbaum, A. A. (1963) Fundamentals of the theory of optimal automatic systems. Moscow: Fizmatgiz, 552 p.
47. Methods of classical and modern theory of automatic control (2004). T.5: Synthesis of regulators of automatic control systems / ed. K.A. Pupkov and N.D. Egupova. Moscow: MSTU them. N.E. Bauman, 616 p.

N. I. Yehorchenkova, PhD.

e-mail: realnata@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv

01601, Kyiv, Volodymirska str., 60/13

O. V. Yehorchenkov, PhD.

e-mail: alexee@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv

01601, Kyiv, Volodymirska str., 60/13

Y. I. Kataieva, PhD.

e-mail: kataevae@ukr.net

Cherkasy State Technological University

18000, Cherkasy, Shevchenko boulevard, 460

CURRENT TRENDS AND PROSPECTS OF PROJECT MANAGEMENT IN THE WORLD

Formulation of the problem. In a modern economy characterized by globalization, outsourcing, increased competition and the speed of service of intangible assets, such as knowledge and know-how, factors of the development and survival of enterprises become key aspects for the modern economy. In this technology-based business environment, projects, due to their complexity and size, must widely apply technologies and tools. In addition, the benefits of information technology (hereinafter - IT) encourage joint project teams to use technology for collaborative work and communications.

Analysis of basic research and publications. The process of project management development is inseparable from the development of information technology. And the global trends of IT spheres dictate the rules for creating technology and project management tools. Therefore, the direction in which the IT industry moves has been identified and thus shows which research and development are necessary for the successful development of project management.

Formulating the purpose of the article. The purpose of the article is to present an analysis of current trends and prospects of project management in the world.

The main research material. For an understanding of trends in the field of information technology, an analyst of such global leaders as Microsoft, Gartner and IDC should be considered.

The analysis showed that the most consistent trend in the IT field is the digital transformation. The next is cloud technologies. In other directions, the forecasts of world leaders in the IT industry are divergent.

Conclusions and perspectives of further research. It is determined that project management in the whole world is also waiting for a digital transformation. And the path to such a transformation is the management tools in a virtual environment without people - electronic project management.

So, the prospect for further research is to identify what researches in the field of digital project management are exist today.

Keywords: digital project management, information technology, Microsoft Inc., Gartner, IDC.

К. В. Базіло, к.т.н., доцент

Черкаський державний технологічний університет
вул. Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ІМПЕДАНСУ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ДИСКУ В ОБЛАСТІ СЕРЕДНІХ ЧАСТОТ

Дискові п'єзоелектричні пристрої широко застосовуються в елементах інформаційних систем. Множинність і різноманітність практичного застосування дисків із секторним електродуванням природним чином стимулює теоретичні дослідження, метою яких є прогнозування характеристик і технічних параметрів пристроїв п'єзоелектроніки, які створюються на їх основі. Прогноз здійснюється на основі математичної моделі, яка є основним результатом теоретичного опису реального пристрою.

Ключові слова: п'єзоелектричний дисковий елемент, фізичні процеси, електричний імпеданс.

Вступ

П'єзоелектричні диски з частковим електродуванням однієї або двох поверхонь досить часто використовуються для створення різних функціональних пристроїв п'єзоелектроніки [1]. Дискові п'єзоелектричні пристрої широко застосовуються в елементах інформаційних систем [2-6]. Диски з секторним електродуванням поверхні є практично основним елементом багатьох мікроелектромеханічних структур [7]. Множинність і різноманітність практичного застосування дисків з секторним електродуванням природним чином стимулює теоретичні дослідження, метою яких є прогнозування характеристик і технічних параметрів пристроїв п'єзоелектроніки, які створюються на їх основі. Прогноз здійснюється на основі математичної моделі, яка є основним результатом теоретичного опису реального пристрою. Практична значимість адекватної реальному об'єкту математичної моделі очевидна. В результаті дослідження математичної моделі реального пристрою можна визначити той набір геометричних, фізико-механічних та електричних параметрів реального об'єкта, який забезпечує реалізацію технічних показників функціонального елементу п'єзоелектроніки, обумовлених в технічному завданні. Це істотно скорочує час і вартість розробки нових функціональних елементів п'єзоелектроніки. Вартість зекономлених ресурсів становить комерційну ціну математичної моделі.

Основною метою даної статті є дослідження електричного імпедансу дискових п'єзокерамічних елементів в області середніх частот.

1. Дослідження п'єзоелектричного диску в області середніх частот

Розглянемо (рис. 1) диск, товщина якого α в багато разів менше радіуса R . Поверхні диску $z = 0$ і $z = \alpha$ (z – координатна вісь циліндричної системи координат ρ, φ, z , початок якої суміщено з центром нижньої поверхні диску) електродовані – покриті тонким (не більше 10 мкм) шаром срібла. На верхню поверхню $z = \alpha$ подається електричний потенціал $U_0 e^{i\omega t}$ (U_0 – амплітудне значення електричного потенціалу, величина якого вибирається з умови $U_0/\alpha \ll 0,1 E_0$, де $E_0 \cong 2$ МВ/м – напруженість електричного поля, яке поляризує матеріал диску, що гарантує відсутність нелінійних ефектів; $i = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця; ω – кругова частота зміни знаку потенціалу; t – час). Нижня електродована поверхня $z = 0$ заземлена, тобто має нульовий потенціал.

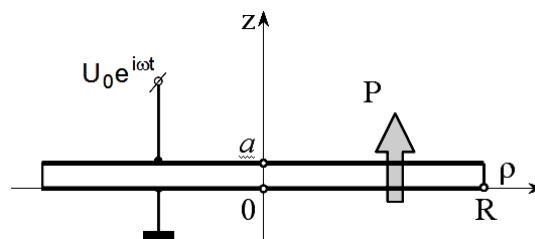


Рис. 1. Розрахункова схема коливального п'єзокерамічного диску

Прикладена до диска різниця електричних потенціалів створює в його об'ємі електричне поле, яке зміщує іони цирконію, тита-

ну, свинцю і кисню з положення рівноваги. В результаті гармонійно змінного в часі деформування диску в ньому виникають поляризаційні заряди, які взаємодіють на електродованих поверхнях з електричними зарядами, які доставляються на ці поверхні генератором різниці електричних потенціалів. Результуючий електричний заряд $Qe^{i\omega t}$ на поверхні $z = \alpha$ своїм електричним полем формує електричний струм $Ie^{i\omega t}$ у провіднику, який з'єднує поверхню $z = \alpha$ з виходом електричного генератора. У будь-який момент часу $Ie^{i\omega t} = -\partial Q/\partial t = -i\omega Qe^{i\omega t}$, тобто амплітуди струму і електричного заряду на поверхні $z = \alpha$ зв'язані лінійною залежністю $I = -i\omega Q$.

Очевидно, що електричний імпеданс $Z_{el}(\omega)$ коливального диску повинен підкорятися закону Ома для ділянки кола, з чого випливає, що

$$Z_{el}(\omega) = \frac{U_0}{I} = -\frac{U_0}{i\omega Q}. \quad (1)$$

Середніми частотами будемо називати частотний діапазон, в якому масштабна одиниця просторової неоднорідності напружено-деформованого стану (довжина пружної хвилі) стає співмірною з радіусом п'єзокерамічного диска.

В роботі [8] наведено розрахунок електричного імпедансу коливального диску, який можна записати в наступному вигляді:

$$Z_{el}(\omega) = \frac{1}{i\omega C_o^*} F^{(*)}(\omega), \quad (2)$$

де

$$F^{(*)}(\omega) = \frac{\lambda R J_0(\lambda R) - (1-k) J_1(\lambda R)}{\lambda R J_0(\lambda R) - (1-k - 2K_{31}^2) J_1(\lambda R)}; \quad (3)$$

$K_{31}^2 = (e_{31}^*)^2 / (c_{11}\chi_{33}^*)$ – квадрат коефіцієнта електромеханічного зв'язку п'єзокераміки в режимі радіальних коливань диска, поляризованого по товщині; $C_o^* = \pi R^2 \chi_{33}^* / \alpha$ – динамічна електрична ємність п'єзокерамічного диску для режиму планарних коливань, тобто електрична ємність в області середніх частот; $\chi_{33}^* = \chi_{33}^E (1 + \Delta\chi_{33}^*)$ – діелектрична проникність для режиму планарних коливань; добавка $\Delta\chi_{33}^* = e_{33}^2 / (\chi_{33}^E c_{33}^E)$ [8].

Функція $F^{(*)}(\omega)$, що задана виразом (3), має ряд характерних точок на вісі частот ω . На частоті ω_{rm} , котра відповідає m -му за номером кореню рівняння

$$x J_0(x) - (1-k) J_1(x) = 0, \quad (4)$$

функція $F^{(*)}(\omega_{rm}) = 0$. Слідом за частотами ω_{rm} радіальних резонансів слідують частоти, на яких обертається в нуль знаменник виразу (3). На цих частотах функція $F^{(*)}(\omega)$ необмежено зростає. Відповідно до цього необмежено зростає електричний імпеданс $Z_{el}(\omega)$ п'єзокерамічного диску. Щоб підкреслити специфіку і відмінність цього стану від стану на частотах електромеханічного резонансу, частоту ω_{am} , на котрих $Z_{el}(\omega_{am}) \rightarrow \infty$, називають частотами електромеханічного антирезонансу.

У реальному експерименті нулі і нескінченності відсутні, оскільки в реальних пружних матеріалах завжди існують втрати на в'язке тертя. Ці втрати можна врахувати за допомогою параметру Q_m , який має сенс механічної добротності матеріалу. Як відомо, добротністю називається безрозмірне число, величина якого обернено пропорційна втрачаним енергії в коливальній системі за період. В ідеальних пружних тілах, де втрати енергії на в'язке тертя відсутні, $Q_m \rightarrow \infty$. У реальних об'єктах добротність Q_m має кінцеве значення.

На рис. 2 показана зміна модуля електричного імпедансу п'єзокерамічного диску в діапазоні середніх частот (рис. 2,а). На вставці в поле рис. 2,а показана зміна значень модуля $Z_{el}(\omega)$ в найближчій околиці частоти ω_{r1} першого електромеханічного резонансу. На рис. 2,б показано зміна модуля електричного імпедансу в околиці частоти ω_{a1} першого електромеханічного антирезонансу. Геометричні і фізико-механічні параметри диска, які використовувалися при обчисленнях за формулою (2) були прийняті наступними: радіус п'єзокерамічного диску $R = 33 \cdot 10^{-3}$ м; товщина $\alpha = 3 \cdot 10^{-3}$ м; параметри матеріалу диска (п'єзокераміки): $c_{11}^E = 110$ ГПа; $c_{12}^E = 60$ ГПа; $c_{33}^E = 100$ ГПа; $e_{33} = 18$ Кл/м²; $e_{31} = -8$ Кл/м² и

$\chi_{33}^e = 1400 \chi_0$; $Q_m = 100$; $k = c_{12}/c_{11} = 0,324$.

По осі ординат відкладені значення модуля електричного імпедансу в кілоомах, по осі абсцис відраховується безрозмірна частота $\Omega = \lambda R = \omega \tau_0$, де $\tau_0 = R/v$ – часовий масштаб;

$v = \sqrt{c_{11}/\rho_0}$ – швидкість поширення пружних

коливань у тонкому диску. Для наведених вище значень параметрів $v = 3162 \text{ м/с}$ і $\tau_0 = 10,44 \cdot 10^{-6} \text{ с}$. Значенню $\Omega = \lambda R = 1$ відповідає частота $f = 15,25 \text{ кГц}$. Розрахунки були виконані на частотах перших двох електромеханічних резонансів.

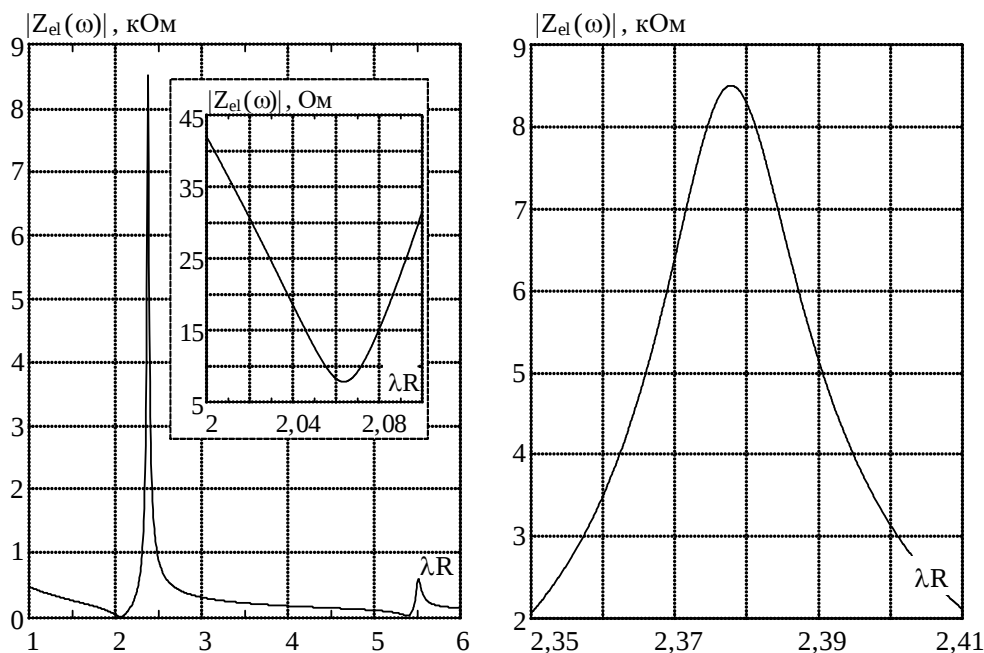


Рис. 2. Модуль електричного імпедансу диска в області середніх частот

В роботі [9] розглянуто методику експериментального визначення електричного імпедансу п'єзокерамічного диску. Схема для проведення експериментальних досліджень наведена на рис. 3.

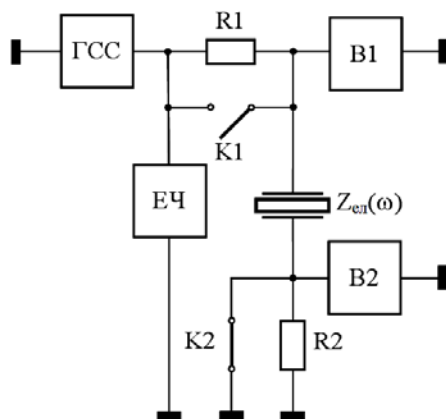


Рис. 3. Електрична схема для вимірювання електричного імпедансу п'єзокерамічного диску

Для виконання експериментальних досліджень використовувалися масивні диски. При цьому мінімізуються ефекти, пов'язані з приєднаною масою, яка виникає в процесі пайки провідників до електродованих поверхонь диску.

При вимірюванні електричного імпедансу $Z_{el}(\omega)$ диск підвішувався в повітрі на тонких нитках для того, щоб уникнути механічного контакту з іншими об'єктами.

На схемі (рис. 3) аббревіатурою ГСС позначений генератор синусоїдальних сигналів, ЕЧ – електронний частотомір, B1 і B2 – електронні вольтметри, K1 і K2 – ключі, що механічно замикаються й розмикаються, R1 і R2 – навантажувальні резистори. Символом $Z_{el}(\omega)$ на рис. 3 позначений досліджуваний зразок. Показане на схемі положення ключів K1 і K2 відповідає режиму вимірювання електричного імпедансу в околиці частоти електромеханічного резонансу. Навантажувальні резистори R1 і R2 підбираються таким чином,

щоб вольтметри В1 і В2 працювали в діапазоні своєї максимальної чутливості, тобто на шкалах $(1 \div 10) \text{ мВ}$. Величини резисторів R1 і R2 повинні бути визначені з точністю до одного Ома.

Для експериментальних досліджень був використаний дисковий п'єзоелектричний елемент $\varnothing 66 \times 3 \text{ мм}$ з матеріалу типу ЦТС.

Результати вимірювання електричного імпедансу п'єзоелектричного диску в області середніх частот представлені на рис. 4.

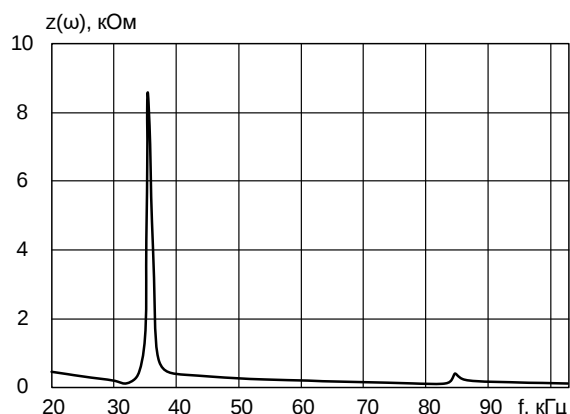


Рис. 4. Електричний імпеданс п'єзоелектричного диску в області середніх частот

При порівнянні результатів математичного моделювання електричного імпедансу п'єзоелектричного диску в області середніх частот (рис. 2), виконаних згідно з виразом (2), та результатів експериментального вимірювання, наведених на рис. 4, видно, що отримана оцінка добре узгоджується з істинним значенням електричного імпедансу. При цьому значенню $Q = \lambda R = 1$ відповідає частота $f = 15, 25 \text{ кГц}$.

Висновки

Основний результат цієї статті можна зафіксувати наступним чином: отримана оцінка електричного імпедансу п'єзоелектричного диску в області середніх частот добре узгоджується з істинним його значенням.

Список літератури

1. Джагупов Р. Г., Ерофеев А. А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления. СПб.: Политехника, 1994. 608 с.
2. Piazza G., Stephanou P. J., Pisano A. P. A1N Contour-Mode Vibrating RF MEMS

for Next generation Wireless Communications, MEMS 2006, pp. 906-909, 2006.

3. Li S. S., Lin Y. W., Xie Y., Nguyen C. C. 1.51 GHz polydiamond micromechanical disk resonator with impedance-mismatched isolating support. *Proceedings 17th Int. IEEE MEMS Conf., Maastricht, The Netherlands, Jan. 25-29, 2004*, pp. 821-824.
4. Y. W. Lin, S. S. Li, Z. Ren, C. C. Nguyen Third-Order Intermodulation Distortion in Capacitively-Driven micromechanical resonators. *IEEE Int. Ultrasonic Symposium, Sept. 18-21, 2005*, pp.1592–1595.
5. Ruby R. "Micromachined cellular filters, Microwave Symposium Digest", IEEE MTT-S International, pp. 370-377, 1996.
6. Lakin M. K., Kline G. R., McCarron K. T. Thin Film Bulk Acoustic Wave Filters for GPS, Ultrasonics Symposium, 1992. Proceedings, IEEE 1992.
7. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение. М.: Техносфера, 2004. 528 с.
8. Петрищев О. Н., Базило К. В. Определение электрического импеданса пьезокерамического диска и его расчет в области средних и высоких частот. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2016. № 3. С. 36–49.
9. Петрищев О. Н., Базило К. В. Методика определения физико-механических параметров пьезоэлектрической керамики. *Журнал нано- та електронної фізики. Суми*. 2017. Т. 9, № 3, 03022(6с).

References

1. Dzhagupov, R. G. and Erofeev, A. A. (1994) Piezoelectronic device of computing, control and monitoring systems. St. Petersburg: Politehnika, 608 p. [in Russian]
2. G. Piazza, P. J. Stephanou, A. P. Pisano, (2006) A1N Contour-Mode Vibrating RF MEMS for Next generation Wireless Communications, MEMS 2006, pp. 906-909.
3. S. S. Li, Y. W. Lin, Y. Xie, C. C. Nguyen, 1.51 (2004) GHz polydiamond micromechanical disk resonator with impedance-mismatched isolating support. *Proceedings, 17th Int. IEEE MEMS Conf., Maastricht, The Netherlands, Jan. 25-29*, pp. 821–824.
4. Y. W. Lin, S. S. Li, Z. Ren, C. C. Nguyen (2005) Third-Order Intermodulation Distor-

- tion in Capacitively-Driven micromechanical resonators. *IEEE Int. Ultrasonic Symposium*, Sept. 18-21, pp.1592–1595.
5. R. Ruby (1996) “Micromachined cellular filters, Microwave Symposium Digest”, IEEE MTT-S International, pp. 370–377.
 6. M. K. Lakin, G. R. Kline, K. T. McCarron. (1992) Thin Film Bulk Acoustic Wave Filters for GPS, Ultrasonics Symposium, 1992. Proceedings, IEEE.
 7. Varadan V., Vinoy K., Jose K. (2004) RF MEMS and their applications. Moscow: *Texnosfera*, 528 p. [in Russian]
 8. Petrishchev O. N., Bazilo C. V. (2016) Determination of electrical impedance of piezoceramic disk and its calculation in medium and high frequency region. *Visnyk of Cherkasy State Technological University*, No. 3, pp. 36–49. [in Russian]
 9. Petrishchev O. N., Bazilo C. V. (2017) Methodology of Determination of Physical and Mechanical Parameters of Piezoelectric Ceramics. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, Vol. 9 No. 3, 03022(6pp). [in Russian]

C. V. Bazilo, Ph. D. (Eng.), Assoc. Prof.
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

RESEARCH OF ELECTRICAL IMPEDANCE OF PIEZOELECTRIC DISK IN MIDDLE FREQUENCIES AREA

Disk piezoelectric devices are widely used in the elements of information systems. The multiplicity and variety of the practical application of disks with sector electrodes naturally stimulates theoretical studies, the purpose of which is to predict the characteristics and technical parameters of piezoelectronic devices that are created on their basis. Prediction is based on a mathematical model, which is the main result of a theoretical description of a real device.

Keywords: piezoelectric disk element, physical processes, electrical impedance.

УДК 629.039

М. М. Дивизинюк, д.ф.-м.н., проф., заместитель директора по научной работе
e-mail: divizinyuk@ukr.net

Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды»,
Национальная академия наук Украины
пр. Палладіна, 34а, г. Киев, Украина, 03680

О. Н. Мирошник, к.т.н., доц., заместитель начальника кафедры
пожарной тактики и аварийно-спасательных работ
e-mail: omiroshnik@ukr.net

Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля НУГЗ Украины
вул. Оноприенка, 8, г. Черкассы, Украина, 18034

А. Самберг, директор Миссии международной организации
по управлению чрезвычайными ситуациями TIEMS в Украине
e-mail: info@tiemsukr.org
Pl 180, Helsinki, Finland, 00701

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В статье рассматривается математическая модель выявления и идентификации разливов нефтепродуктов на водной поверхности, состоящая из пяти зависимостей, первые три из которых определяют дальность выявления антропогенного разлива нефтепродуктов на водной поверхности в зависимости от конкретных условий постановки задания поиска антропогенных загрязнений на водной поверхности летательным аппаратом, оборудованным лидаром, а две следующие зависимости описывают процесс идентификации обнаруженного пятна и определения его происхождения.

Ключевые слова: математическая модель, разлив нефтепродуктов, лидар, нефтяное пятно, идентификация.

Введение. Три четверти Земной поверхности составляет акватория Мирового океана, которая определяет главную климатическую составляющую окружающей (земной) природной среды [1]. Влияние негативных техногенных факторов и их антропогенных последствий вызывает изменения в окружающей природной среде, которые в большинстве случаев проявляются в форме различных чрезвычайных ситуаций и катастроф [2, 3]. Один из тяжелейших видов чрезвычайных ситуаций техногенного характера, происходящих в морях и океанах, обусловлен разливом нефтепродуктов [4]. Их последствия воздействуют на флору и фауну не только прибрежных вод и побережья, находящихся в непосредственной близости от места происшествия, но и распространяются на сотни километров в течение ближайших дней после аварии. Часть разлитых нефтепродуктов переходит в эмульгированное состояние и мигрирует в водной толще невидимо для человеческого глаза, загрязняя районы, где их появления никто не ожидает [5].

Предотвращение такого рода чрезвычайных ситуаций – это актуальнейшая многоплановая проблема, решением которой занимаются не только специальные государственные службы и ведомства, но и широкий круг ученых, обеспечивающих как прикладные, так и фундаментальные научные исследования [6, 7].

Постановка цели и задач научного исследования. Цель данной работы – разработать математическую модель обнаружения и идентификации разливов нефтепродуктов на водной поверхности с использованием авиационного активного гиперспектрального сканирующего лидара.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд научных задач, а именно: дать описание физических процессов обнаружения антропогенных нефтяных загрязнений на водной поверхности с использованием активного гиперспектрального сканирующего лидара; рассмотреть процесс идентификации нефтяных пятен и определения их происхождения (определения источника

умышленного сброса); описать полученную математическую модель.

Характеристика физических процессов обнаружения антропогенных нефтяных загрязнений на водной поверхности. Процесс обнаружения антропогенных нефтяных загрязнений лидаром определяется его основными техническими характеристиками. К ним относятся коэффициент распознавания δ приемной оптической системы, чувствительность приёмного регистрирующего устройства $R_{пр}$, коэффициент усиления оптической системы $K_{ус}$, мощность излучения лазерного импульсного сигнала P_u .

Главной характеристикой облучаемого объекта является радиус эквивалентной отражающей поверхности $R_э$. Эта величина определяет зернистость облучаемого лазерным лучом объекта и зависит от его молекулярной массы. Поэтому радиусы эквивалентной отражающей поверхности для керосинов и других легких нефтепродуктов будут меньшими по сравнению с радиусами эквивалентной отражающей поверхности дизельного топлива, машинных масел и сырой нефти.

Кроме того, для одного и того же вида нефтепродукта радиус эквивалентной отражающей поверхности будет зависеть от термобарических параметров приводного слоя атмосферы и термохалинных характеристик приповерхностного слоя морских вод. Совокупность этих величин принято также называть энергетическим потенциалом средства обнаружения по определённому объекту или классу объектов (антропогенных загрязнений), которая обозначается $\Pi_{эсo}$.

Закономерность спада интенсивности распространяющейся световой (электромагнитной) волны $\Psi(D, f)$ – это математическая зависимость, характеризующая закономерность затухания любой распространяющейся волны за счёт расширения сферического фронта и объёмного затухания. Последнее зависит от частоты излучения, которая является фиксированной величиной для определённого класса оптических средств обнаружения, в том числе и для рассматриваемого образца.

Допуская, что основные параметры лидара остаются неизменными, то есть режим его работы не изменяется в течение времени поиска антропогенных загрязнений на водной поверхности, энергетический потенциал можно рассматривать как функцию, зависящую от

свойств отражающей поверхности объекта обнаружения, то есть $\Pi_{эсo}(R_э)$ зависит от радиуса эквивалентной отражающей поверхности. Отсюда следует, что энергетическая дальность обнаружения объекта (антропогенного загрязнения на водной поверхности) определяется соответствием (равенством) значения энергетического потенциала средства оптического обнаружения значению закономерности спада интенсивности распространяющейся световой (электромагнитной) волны, рассчитанному для дистанции, то есть

$$D_э = f[\Psi(D, f); \Pi_{эсo}(R_э)] \quad (1)$$

Энергетическая дальность обнаружения $D_э$ является расчётной или аналитической величиной, которая не учитывает искривление земной поверхности, обусловленное её формой, особенностей раскрытия оптических устройств, установленных на летательном аппарате, и способов сканирования водной поверхности. Все это учитывает геометрическая дальность обнаружения объектов, которая определяется дальностью видимого горизонта $D_{лз}$, учитывающей высоту полета летательного аппарата h_A , текущим значением азимута α , определяющего разворот оптического устройства на угол относительно направления на север, и функционалом F_{pa} , оценивающим положение сканирующего лазерного луча по i -тому направлению, задаваемому азимутом разворота оптического устройства обнаружения. То есть геометрическая дальность обнаружения загрязнений имеет вид:

$$D_{г} = \varphi(D_{лз}, \alpha, F_{pa}). \quad (2)$$

Однако геометрическая дальность обнаружения объекта $D_{г}$ не учитывает прохождение световых волн через воздушную среду, определяемую состоянием приземных слоёв атмосферы.

Для этого используется ожидаемая дальность обнаружения объектов, учитывающая состояние приземных слоёв атмосферы, которое традиционно характеризуется температурой воздуха, его влажностью, атмосферным давлением и наличием естественных (туман, морось, снегопад) и искусственных (дым, огонь, вызванный пожаром, пар, обусловленный аварией на теплотрассе) примесей.

Поскольку каждый из этих параметров в каждой точке окружающего воздушного пространства имеет своё значение, то гидрометеорологами принято говорить о поле температуры, поле влажности, поле атмосферного давления и поле распространяющейся примеси. Каждое из перечисленных полей представляет собой совокупность значений единого параметра, распределенного с заданной дискретностью в рассматриваемом объеме приземного пространства.

Для получения информации об оптических свойствах атмосферы, их временной и пространственной изменчивости наряду со специальными спектрометрическими измерениями используются данные стандартных сетевых актиметрических наблюдений. По измерениям энергетической яркости прямой солнечной радиации рассчитывается интегральный коэффициент прозрачности атмосферы. Кроме коэффициента прозрачности могут использоваться коэффициент ослабления, коэффициент мутности и другие.

В ряде случаев при использовании широкополосных сигналов возникает необходимость учета характеристики спектральной прозрачности атмосферы. Если в пределах спектрального интервала коэффициент ослабления нельзя считать постоянным, то при лазерном зондировании необходимо использовать не спектральную прозрачность атмосферы, а функцию пропускания, искаженную действием аппаратурной функции источника.

Одним из существенных показателей прозрачности атмосферы является облачность. Наличие облаков может полностью исключить использование авиационных лидаров для зондирования водной поверхности. Поэтому для практических расчетов функции пропускания лазерного излучения нижними слоями атмосферы существует множество эмпирических методик расчета коэффициентов ослабления по данным температуры, влажности, давления, силы ветра и соответствующим диапазонам излучаемых волн. В ряде методик это ослабление называют коэффициентом аномалии A нижних слоев атмосферы. Заметим, что существуют методики для определения коэффициента аномалии по ряду местных региональных признаков.

Геометрическая дальность обнаружения объекта, умноженная на коэффициент аномалии A нижних слоев атмосферы, носит назва-

ние ожидаемой дальности обнаружения объекта.

В ряде случаев для определения ожидаемой дальности обнаружения используют не геометрическую, а энергетическую дальность обнаружения. Это возможно, когда $D_0 \ll D_r$. Поэтому для определения ожидаемой дальности используют выражение:

$$D_0 = A \cdot \begin{cases} D_r, & \text{если } D_r \approx D_0 \\ D_0, & \text{если } D_0 \ll D_r \end{cases} \quad (3)$$

Описание процесса идентификации нефтяных пятен и определения их происхождения. Идентификация, от латинского «identifico» – отождествление, установление тождественности неизвестного объекта известному образу на основании совпадения существенных признаков.

Антропогенные загрязнения, которые появляются в результате умышленного сброса, в своем большинстве вызваны различными видами нефтепродуктов: от летучих керосинов до сырой нефти. Чаще всего это смесь различных видов углеводородов, образованная в результате эксплуатационных протечек корабельных систем и перемешивания в трюмах водных транспортных средств, так называемые льяльные воды, которые чаще всего и сбрасываются как с океанских судов, так и с малых плавсредств.

Возможности лидаров позволяют производить обнаружение и определять месторасположение нефтяных пленок размерами от нескольких квадратных дециметров в штилевую погоду. Производя многочастотное сканирование обнаруженной нефтяной пленки лидаром можно получить ее фотометрический спектр. Сравнивая полученный лидарный фотометрический спектр со спектрами, имеющимися в базе данных, можно определить плавсредство, которое произвело умышленный сброс.

Другими словами, задача идентификации обнаруженного объекта технически сводится к оптимальной фильтрации принятых приемным устройством всех отраженных сигналов, поступающих как от обнаруженных антропогенных объектов, так и от образов, имеющихся в базе данных. Она решается методами оптимальной линейной фильтрации по критерию минимума среднего квадрата ошибки и линейной фильтрации по критерию

правдоподобия – максимального отношения сигнал-шум.

В первом случае получаем, что спектральная плотность полученного сигнала при оптимальной линейной фильтрации по критерию минимума среднего квадрата ошибки определяется количеством типов (образов) принятых импульсных отражений от антропогенного загрязнения при её идентификации и описывается выражением:

$$S_s(\omega) = f(N_0), \quad (4)$$

где $S_s(\omega)$ – спектральная плотность широкополосного сигнала;

N_0 – количестве типов (образов) нефтяных загрязнений, имеющих в базе данных лидара.

Во втором случае спектральная плотность полезного сигнала при оптимальной линейной фильтрации по критерию правдоподобия – максимального отношения сигнал-шум, определяется степенью сопряжения (соответствия) амплитудно-частотной характеристики приёмного устройства амплитудному спектру входного полезного широкополосного сигнала и описывается выражением:

$$S_s(\omega) = K^S \cdot S(j\omega), \quad (5)$$

где K^S – функция, показывающая степень сопряжения (соответствия) коэффициента усиления в полосе приёмного устройства амплитудному спектру входного сигнала.

Объединяя в одну систему выражения (1)-(5), получим искомую математическую модель

$$\begin{cases} D_s = f[\Psi(D, f); \Pi_{эсo}(R_s)] \\ D_r = \varphi(D_s, \alpha, F_{pa}) \\ D_0 = A \cdot \begin{cases} D_r, \text{ если } D_r \approx D_s \\ D_s, \text{ если } D_s \ll D_r \end{cases} \\ S_s(\omega) = f(N_0) = K^S \cdot S(j\omega) \end{cases} \quad (6)$$

Выводы. Математическая модель обнаружения и идентификации разливов нефтепродуктов на водной поверхности позволяет получить расчетные значения энергетической, геометрической и ожидаемой дальностей обнаружения антропогенных загрязнений в зависимости от конкретных условий постановки

задачи их поиска на водной поверхности с использованием летательного аппарата, оснащенного лидаром, и проводить их идентификацию по критерию минимума среднего квадрата ошибки и определение происхождения пятна по критерию правдоподобия – максимальному отношению сигнал-шум.

Список литературы

1. Шулейкин В. В. Физика моря. М.: Наука, 1967. 1086 с.
2. Азаренко Е. В. и др. Моделирование чрезвычайных ситуаций, вызванных нефтяным загрязнением на внутренних и внешних рейдах портов. *Сб. науч. тр. СКУАЭиП*. Севастополь: СКУАЭиП, 2009. Вып. 3 (31). С. 192–198.
3. Гончаренко Ю. Ю., Браславский Ю. В., Григорьева В. Н. Структурно-логическая модель развития чрезвычайной ситуации, вызванной разливом нефти. *Сб. науч. тр. СКУАЭиП*. Севастополь: СКУАЭиП, 2010. Вып. 4 (36). С. 222–227.
4. Азаренко Е. В., Дивизинюк М. М., Третьякова Л. В. Обнаружение эмульгированных нефтяных загрязнений в северо-западной части Черного моря. *Сб. науч. тр. СНИАЭиП*. Севастополь: СНИАЭиП, 2004. Вып. 11. С. 155–162.
5. Азаренко Е. В., Гончаренко Ю. Ю., Дивизинюк М. М. Модели распространения антропогенной примеси в Черном море: монография. Севастополь: Госокеанариум, 2012. 92 с.
6. Про цивільну оборону України: Закон України. *Відомості Верховної Ради*. 2007. № 33.
7. Международная конвенция по предотвращению загрязнения судов 1973 года и Протокол 1978 года. М.: Изд-во УРИА «Морфлот», 1980. 364 с.

References

1. Shuleykin, V. V. (1967) Fizika morya. Nauka. 1086 с.
2. Azarenko, E. V. i dr. (2009) Modelirovaniye chrezvychaynykh situatsiy, vyzvannykh neftnyam zagryazneniyem na vnutrennikh i vneshnikh reyдах portov. *Sb. nauch. tr. SNUYAEiP*. Sevastopol': SNUYAEiP. Vyp.3 (31). С. 192–198.

3. Goncharenko, YU. YU., Braslavskiy, YU. V., Grigor'yeva, V. N. (2010) Strukturno-logicheskaya model' razvitiya chrezvychnoy situatsii, vyzvannoy razlivom nefti. *Sb. nauch. tr. SNUYAEiP*. Sevastopol': SNUYAEiP. Vyp. 4 (36). C. 222–227.
4. Azarenko, E. V., Tret'yakova L. V., Divizinyuk, M. M. (2004) Obnaruzheniye emul'girovannykh neftyanykh zagryazneniy v severo-zapadnoy chasti Chernogo moray. *Sb. nauch. tr. SNIYAEiP*. Sevastopol': SNIYAEiP. Vyp. 11. C. 155–162.
5. Azarenko, E. V., Goncharenko, YU. YU., Divizinyuk, M. M. Modeli rasprostroneniya antropogennoy primesi v Chernom more: monografiya. Sevastopol': Gosokeanarium, 2012. 92 c.
6. Pro tsyvil'nu oboronu Ukrayiny: Zakon Ukrayiny (2007) *Vidomosti Verkhovnoyi Rady*. № 33.
7. Mezhdunarodnaya konventsia po predotvrashcheniyu zagryazneniya sudov 1973 goda i Protokol 1978 goda. M.: Izd-vo URIA «Morflot», 1980. 364 c.

M. Diviziniuk, *Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, the defender of the director of science robotics*
e-mail: divizinyuk@ukr.net

State institution «Institute of Environmental Geochemistry
of the National Academy of Sciences of Ukraine»
34, Palladin Avenue, Kyiv, Ukraine

O. Miroshnik, *candidate of science (Hist.), docent docent of fire tactics and emergency-rescuer activities*
e-mail: omiroshnik@ukr.net

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Protection of Ukraine,
Onoprienko Str.8, Cherkasy, Ukraine, 18034

A. Samberg, *Head The International Emergency Management Society, Tiems Mission to Ukraine*
e-mail: info@tiemsukr.org
Pl 180, Helsinki, Finland, 00701

MATHEMATICAL MODEL OF DETECTION AND IDENTIFICATION SPREADS OF OIL PRODUCTS ON WATER SURFACE

The article considers a mathematical model for the detection and identification of oil spills on the water surface, which consists of five relationships, the first three of which determine the detection range of anthropogenic spillage of oil products on the water surface, depending on the specific conditions for setting an anthropogenic pollution problem on the water surface with an aircraft equipped with lidar, and two subsequent dependencies describe the process of identifying the detected spot and determining its origin walking.

Keywords: *mathematical model, oil spill, lidar, oil slick, identification.*

Ю. О. Накул, провідний фахівець НДЧ

e-mail: Nak.01@ukr.net

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗА

В статті розглядаються розроблена математична модель системи завантаження контейнеровоза, що дозволяє визначати переважну більшість технічних параметрів судна після проведення завантаження. Модель передбачає контроль за належною масою контейнерів, її рівномірний розподіл, відповідність завантажуваних контейнерів до обраних критеріїв оптимізації завантаження, до яких відноситься пріоритетність завантаження за масою, черговістю доставки в місця призначення, цінність та інше. Розроблена модель дозволяє встановити залежності між вхідними і вихідними параметрами та використати її під час подальшої апаратно-програмно реалізації.

Ключові слова: судно, математична модель, контроль, завантаження.

Вступ. Останнім часом у морських перевезеннях відбувається збільшення частки перевезень за рахунок використання контейнерів, тобто – контейнеровозів. Процес завантаження контейнеровозів є складним завданням, що вимагає координації багатьох складових. Для здійснення повного контролю за переміщеннями контейнерів під час завантаження та отримання можливості автоматичної перевірки параметрів стійкості судна потрібно мати можливість автоматичної реєстрації їх переміщень та ваги.

В роботі, перш за все, було розглянуто перебіг основних процесів, що відбуваються під час заходу судна в порт та при його завантаженні [1-4]. У результаті узагальнення проаналізованих даних виявлено відсутність наукових рішень щодо автоматизації контролю процесу завантаження та перерахунку основних показників судна в реальному часі.

Аналіз існуючих комп'ютерних систем [1-2] показав відсутність наявних методів перевірки основних параметрів судна, таких як остійності та ін., в режимі реального часу при завантаженні/розвантаженні судна. У зв'язку з цим в роботі висунуто пропозицію щодо створення нових інтегрованих підходів до управління процесом завантаження, по розробці математичної моделі, що стане основою створення автоматичного контролю за параметрами судна в режимі реального часу при його завантаженні / розвантаженні, основою розробки нових методів та систем для контролю за завантаженням судна, що дозволить контролювати режими завантаження в авто-

матичному режимі та даватимуть інформацію у реальному часі.

Таким чином, **мета роботи** полягає в розробці математичної моделі системи завантаження контейнеровоза, що дозволить визначати переважну більшість технічних параметрів судна після проведення завантаження.

Основна частина. На початковому етапі всю систему можна розглядати в якості моделі «чорного ящика» (рис. 1) [5-8].

Як відомо, модель «чорного ящика» пов'язана із середовищем за допомогою своїх входів і виходів, опишемо ці параметри. На вхід системи подані параметри: N – комплексна характеристика кількості виділених блоків для завантаження та координат їх розташування, L – кількість завантажуваних контейнерів, W – комплексна величина, що визначається кількістю та масою контейнерів, накопичених вантажем, що вже міститься на палубі та енергія нових контейнерів, що завантажуються на судно. На виході системи спостерігатися величини: W – комплексна величина, яка надасть інформацію про розподіл маси контейнерів та їх кількості, на основі чого можна розрахувати основні параметри стійкості судна, t – час виконання системою завдань, M – загальна маса контейнерів, що будуть транспортуватися в подальшому.

Також на вхід системи передаються параметри завдань, які в даному випадку будуть часом завантаження конкретного контейнера, кількість маніпуляцій при завантаженні, порядок доставки вантажів.

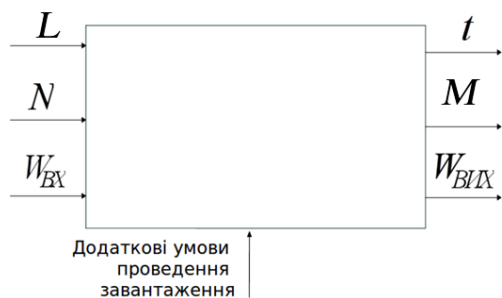


Рис. 1. Модель системи автоматизації процесу завантаження у вигляді «чорного ящика»

Оскільки ці параметри можуть коригуватися поза системою, їх можна вважати керованими. Важливо відзначити, що пріоритет завдань встановлюється в залежності від маси завантажуваного контейнера та порядку й часу його доставки в місце призначення: від меншого до більшого за часом і від більшого до меншого за масою.

Таким чином була отримана вихідна модель комп'ютерної системи завантаження контейнеровозів, яка потребує подальшого математичного розв'язку.

На першому етапі потрібно ввести умову ефективної безперервної та надійної роботи системи завантаження:

$$\sum_{j=1}^n (S_j^{нак} + S_j^{поступ}) = 0, \quad (1)$$

де $S_j^{нак}$ – кількісно-масовий показник, комплексна величина, що визначається кількістю та масою контейнерів – співвідношення кількості та маси вантажів, що вже містяться на палубі; $S_j^{поступ}$ – кількісно-масовий показник, комплексна величина, що визначається кількістю та масою завантажених контейнерів. Дана рівність визначатиме стійкість корабля та вантажу. Відмінність від нуля вказуватиме на наявність крену чи диференту судна, що може призвести до втрати вантажу під час транспортування.

За умови, що комплексна величина сумарного обсягу та ваги завантажених контейнерів не повинна перевищувати допустимий обсяг та масу можливого додаткового вантажу:

$$m_{ij}^{СУДНА} \geq x_{ij} \cdot m_i^{КОН}, \quad (2)$$

де $m_i^{КОН}$ – маса i -го завантажуваного контейнера; $m_{ij}^{СУДНА}$ – допустимий обсяг та маса j -го блоку на палубі судна; $i = \overline{1, l}$ – кількість

завантажуваних контейнерів, $j = \overline{1, n}$ – кількість виділених блоків.

У зв'язку зі специфікою функціонування даної системи прийняття рішення при завантаженні контейнерів, а саме – обмеженим часом завантаження/розвантаження судна та розподіленням маси при завантаженні, для виконання i -го завдання вибирається контейнер з максимальним значенням кількісно-масового показника:

$$S_j^{поступ} = \max_{j=1}^n \{S_j^{поступ} \cdot \bar{r}_j\}, \quad (3)$$

де $\bar{r}_j$ – ваговий коефіцієнт для j -го контейнера вибирається як:

$$\bar{r}_i = \max_{j=1}^L \{k_j\} \quad (4)$$

де k_j – поточний ваговий коефіцієнт контейнера, який знаходиться як:

$$k_i = \frac{t_i^{дост}}{\sum_{p=1}^i t_p^{терм}}, \quad (5)$$

де $t_p^{терм}$ – час затрачений на переміщення контейнера в терміналі, $t_i^{дост}$ – час на доставку контейнера до кінцевого місця призначення

Сформуємо матрицю оптимального розподілу завдань завантаження, в якій кожен елемент може приймати такі значення:

$$\begin{cases} x_{ij} = 0, & i\text{-е завдання не призначено } j\text{-му контейнеру,} \\ x_{ij} = 1, & i\text{-е завдання назначено } j\text{-му контейнеру.} \end{cases}$$

Тоді цільова функція мінімізації часу виконання завдань, що надійшли в систему керування завантаженням, буде мати вигляд:

$$\left(\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_j^{поступ} x_{ij} t_{ij} \right) \rightarrow \min \quad (6)$$

Ще одна умова стійкості формулюється так: кількісно-масовий показник навантаженого судна має бути не менше або рівний сумі кількісно-масових показників накопичених та завантажених контейнерів:

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{СУДНА} \leq \sum_{j=1}^n S_j^{нак} + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{поступ}. \quad (7)$$

Продуктивність системи завантаження визначається з виразу:

$$W = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \times K_{ij} \times I_{ij}, \quad (8)$$

де K_{ij} – кількість операцій, виконаних при виконанні j -им завантажувачем i -ої роботи по

переміщенню контейнера; I_{ij} – кількість кра- нових завантажувачів, задіяних при наванта- женні/розвантаженні судна.

Таким чином, модель функціонування комп'ютерної системи завантаження контей- неровозу набуде вигляду:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n S_j^{\text{нак}} + S_j^{\text{поступ}} = 0, \\ \left(\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot t_{ij} \right) \rightarrow \min, \text{ при } m_{ij}^{\text{СУДНА}} \geq x_{ij} \cdot m_i^{\text{КОН}}, \\ S_j^{\text{поступ}} = \max_{j=1}^n \{S_j^{\text{поступ}}\}, S_{ij}^{\text{поступ}} > 0, \\ \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{\text{СУДНА}} \leq \sum_{j=1}^n S_j^{\text{нак}} + \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n S_{ij}^{\text{поступ}}, \\ W = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot K_{ij} \cdot I_{ij} \rightarrow \min, \text{ при } K_{ij} \rightarrow 0, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, l}. \end{cases}$$

Виходячи з отриманої моделі, можна перетворити модель «чорного ящика» в модель «прозорого ящика» (рис. 2).

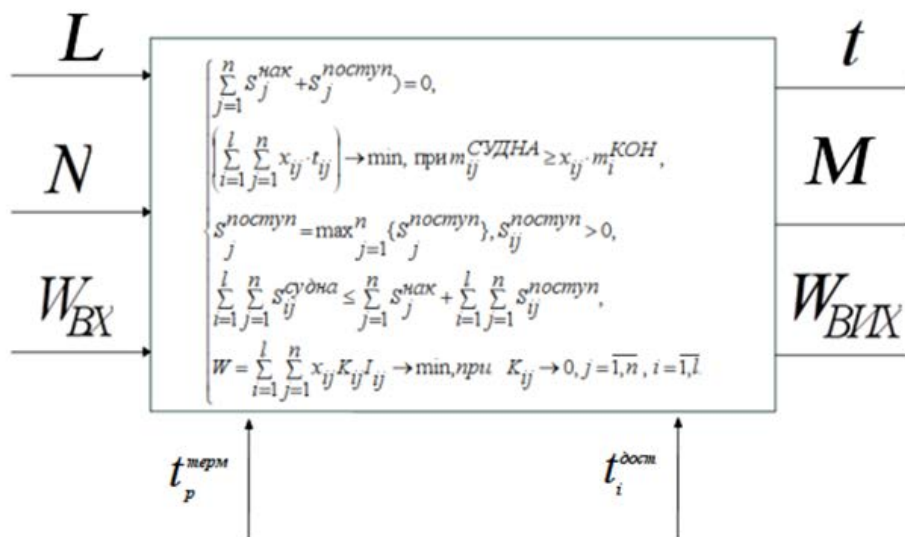


Рис. 2. Подання системи у вигляді моделі «прозорого ящика»

Висновки. Таким чином, в роботі була розроблена математична модель функціонування комп'ютерної системи завантаження контейнеровозу, яка описує ключові параметри системи, такі як час завантаження, продуктивність, подальша безпека вантажу та ефективність при розвантаженні в наступному місці призначення, при цьому враховує енергетичні обмеження системи.

Розроблена модель дозволяє встановити залежності між вхідними і вихідними параме-

трами та використати її під час подальшої апаратно-програмної реалізації.

Список літератури

1. Накул Ю. А., Нікольський В. В., Стовманенко В. С. Система контролю завантаження контейнеровозів. *Судовождение*. Одесская национальная морская академия. 2017. №27. С. 127–136.
2. Бабаков В. В. Расчет грузового плана

- контейнеровоза на персональных ЭВМ. Одесса: ОГМА, 1992. 40 с.
3. Кокин А. С. Международная морская перевозка грузов: право и практика. М.: Волтерс Клувер, 2007. 584 с.
 4. Николаева Л. Л., Цымбал Н. Н. Морские перевозки: учебник. О.: Одесская национальная морская академия, Феникс, 2005. 200 с.
 5. Живицкая Е. Н. Системный анализ и проектирование. Лекция 3: Системы. Модели систем. URL: <http://victor-safronov.ru/systems-analysis/lectures/zhivickaya/05.html>.–017.
 6. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу. К.: Видавнича група BHV, 2007. 544 с.
 7. Миротин Л. Б., Тышбаев Ы. Э. Системный анализ в логистике: учебник. М.: Экзамен, 2002. 480 с.
 8. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. М.: ВШ, 1989. 363 с.

Yu. O. Nakul, *Leading Specialist in Research*,
The Petro Mohyla Black Sea National University (BSNU),
68 Desantnykiv St., 10, Mykolaiv, 54003, Ukraine.

THE MATHEMATICAL MODEL OF LOADING SYSTEMS OF A CONTAINER SHIP

The article deals with the developed mathematical model of container loading system, which allows determining the overwhelming majority of technical parameters of the vessel after loading. The model involves controlling the proper weight of the containers, its uniform distribution, the compliance of the loaded containers with the selected download optimization criteria, which includes the priority of loading by weight, the order of delivery to the destination, value and so on. The developed model allows to establish dependencies between incoming and outgoing parameters and use it during further hardware-software implementation.

Keywords: ship, mathematical model, control, loading.

В. В. Лепський¹, к.мед.н., доцент,

докторант кафедри робототехніки та спеціалізованих комп'ютерних систем,

e-mail: cherkassymsek@ukr.net

Т. В. Дзюба², старший викладач

кафедри бізнес-адміністрування та управління проектами,

e-mail: twdzub@gmail.com

¹Черкаський державний технологічний університет,

бульв. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18000, Україна

²Університет економіки та права "КРОК",

вул. Лагерна, 30-32, м. Київ, Україна

МОДЕЛІ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО МЕДИЧНОГО ЗАКЛАДУ

Процеси глобалізації та євроінтеграції, необхідність відповідності до міжнародних норм, вимог і стандартів, забезпечення надання якісних медичних послуг населенню, сучасний стан системи охорони здоров'я з наявним у ній остаточним, але досить застарілим підходом до управління медичними закладами, вимагають всебічного системного аналізу, удосконалення існуючого провідного досвіду та адаптації проектно-орієнтованого управління до медичної сфери. У статті наведено дослідження моделей бізнес-процесів ініціалізації та реалізації проектів у медичному закладі без впровадження в них процесів і моделей проектного управління, аналіз їх особливостей та недоліки. Саме глибокий всебічний аналіз даних аспектів доводить актуальність та вказує на шляхи усунення недоліків через проведення інжинірингу існуючих процесів, побудови моделей бізнес-процесів медичних закладів у парадигмі сучасних напрацювань науки управління проектами, програмами і портфелями проектів.

Ключові слова: медичний заклад, інтегроване управління проектно-орієнтованим медичним закладом, бізнес-процес, модель бізнес-процесу, проект, фази проекту.

Постановка проблеми

Сфера охорони здоров'я одна з найважливіших у державі, і в той же час одна з найпроблемніших в Україні. В умовах загальної глобалізації, євроінтеграції, прийняття єдиних міжнародних вимог, норм і стандартів Україні належить здійснити її реформування, перехід до проектно-орієнтованого типу господарювання, що вимагає її глибокого аналізу, розробки і застосування інноваційного інструментарію для інтегрованого управління медичними закладами в умовах жорсткої конкуренції та високих ризиків.

Аналіз останніх досліджень

Питання управління в проектному менеджменті розглядалося багатьма авторами: Радишем Я. Ф., Білінською М. М., Лехан В. М., Слабким Г. О., Солоненко І. М., Долотом В. Д. Та сутність сучасних медичних закладів суттєво обмежує застосування відомих ефективних засобів управління саме через їх специфіку як проектно-орієнтованих організацій.

У результаті дослідження була виявлена ціла низка розривів управління [1], яка формує важливу науково-практичну проблему: необхідність створення інтегрованої методології, адаптованої саме до сфери управління медичними закладами.

Метою статті є дослідження існуючих моделей бізнес-процесів медичних закладів без інтеграції процесів проектного управління для визначення подальших шляхів підвищення їх ефективності через впровадження проектно-орієнтованого підходу.

Виклад основного матеріалу

Основою підвищення ефективності організацій виступають два основні, базисні вектори – зниження собівартості, що на пряму не стосується проектного управління, і оптимізація процесів управління, що є предметом дослідження.

Розглянемо моделі бізнес-процесів, що відтворюють роботу ПОМЗ без впровадження у них процесів і моделей проектного управління. Такі моделі у класиці реінжинірингу бізнес-процесів називають моделями «Як є» [2–5].

У медичних закладах, як правило, бізнес-процеси описані неявно, тобто відсутні їх побудовані моделі у відомих нотаціях з опису бізнес-процесів. Натомість вони відображені в документах і можуть бути відтворені з них.

Користуючись класикою опису бізнес-процесів [2], можна зробити наступний їх розподіл – основні бізнес-процеси, допоміжні бізнес-процеси, управлінські бізнес-процеси.

До основних бізнес-процесів медичного закладу, які описані в документах і можуть бути відтворені в будь-якій нотації, належать:

- прийом (консультація) хворого;
- прийом (покладення) хворого до лікарні;
- консервативне лікування хворого (група процесів, кількість яких складається з переліку процесів лікування кожної хвороби, що лікуються в медичному закладі відповідно до його медичного спрямування);
- оперативне лікування хворого (так само група процесів);
- виписка хворого з лікарні;
- проведення реабілітації тощо.

До допоміжних бізнес-процесів, таких, що хоча б частково формалізовані або є усталеними і зрозумілими для персоналу медичного закладу і від того можуть бути описані, належать, наприклад, такі:

- отримання фінансування;
- розподіл бюджету;
- постачання медичними препаратами;
- проведення реклами медичного закладу;
- прибирання у медичному закладі;
- виплата заробітної платні працівникам медичного закладу тощо.

Однак, найбільшу цікавість для цього дослідження представляють управлінські бізнес-процеси, серед яких можна виділити:

- планування діяльності;
- звітність про проведену діяльність;
- організація проведення консилиумів;
- організація проведення нарад;
- прийом працівника на роботу у медичний заклад (група процесів, кількість яких залежить від кількості типів штатних посад медичного закладу – наприклад, лікар, санітар, головний лікар, прибиральниця, бухгалтер тощо):
- звільнення працівника з медичного закладу;
- ведення проектів.

Останній бізнес-процес в межах функціональної або слабкої матричної структури, якими характеризується переважна більшість сучасних українських медичних закладів, як правило, зовсім не формалізований. Однак, у кожному медичному закладі приймається, як правило, вербально або неявно (навіть, точніше буде сказати – розповсюджена), деяка схема його реалізації.

Умовно можна виділити усього дві фази проектів медичних закладів – фазу ініціалізації і фазу реалізації. Фази планування і завершення, що доповнюють класичну модель життєвого циклу проектів згідно РМВОК [6] представлені у вигляді коротких процесів і їх взагалі не можна розглядати як фази.

Розглянемо моделі фаз ініціалізації і реалізації проектів медичних закладів. Ці моделі належать до класу моделей «Як є».

Візуалізація бізнес-процесу ініціалізації проекту в існуючому медичному закладі зі слабкою матричною організаційною структурою наведена на рис. 1. Охарактеризуємо цей процес.

Ініціатором, який подає ідею на розгляд (П1.2), може бути тільки представник керівництва медичного закладу, або Міністерство охорони здоров'я (далі – МОЗ).

Суттєвою рисою процесу, його суттєвим недоліком є те, що межі процесу «Повторний розгляд проекту» (П1.5) вказати неможливо, оскільки він може повторюватися багато разів і завершуватися (і в кінці кінців завершитися) нерезультативно.

Характерною ознакою слабкої матричної структури є відсутність особи, що безпосередньо відповідальна за отримання результату проекту, і проект є її єдиною роботою, не обтяженою функціональним навантаженням. Натомість, в слабкій матричній структурі присутній координатор, який відповідає за забезпечення можливості учасникам проекту виконувати роботи по проекту.

Координатор призначається з існуючої структури, має додаткові функціональні обов'язки окрім координації проекту (при цьому проект, як показує практика, має для координатора нижчий пріоритет, ніж виконання безпосередніх функціональних обов'язків).

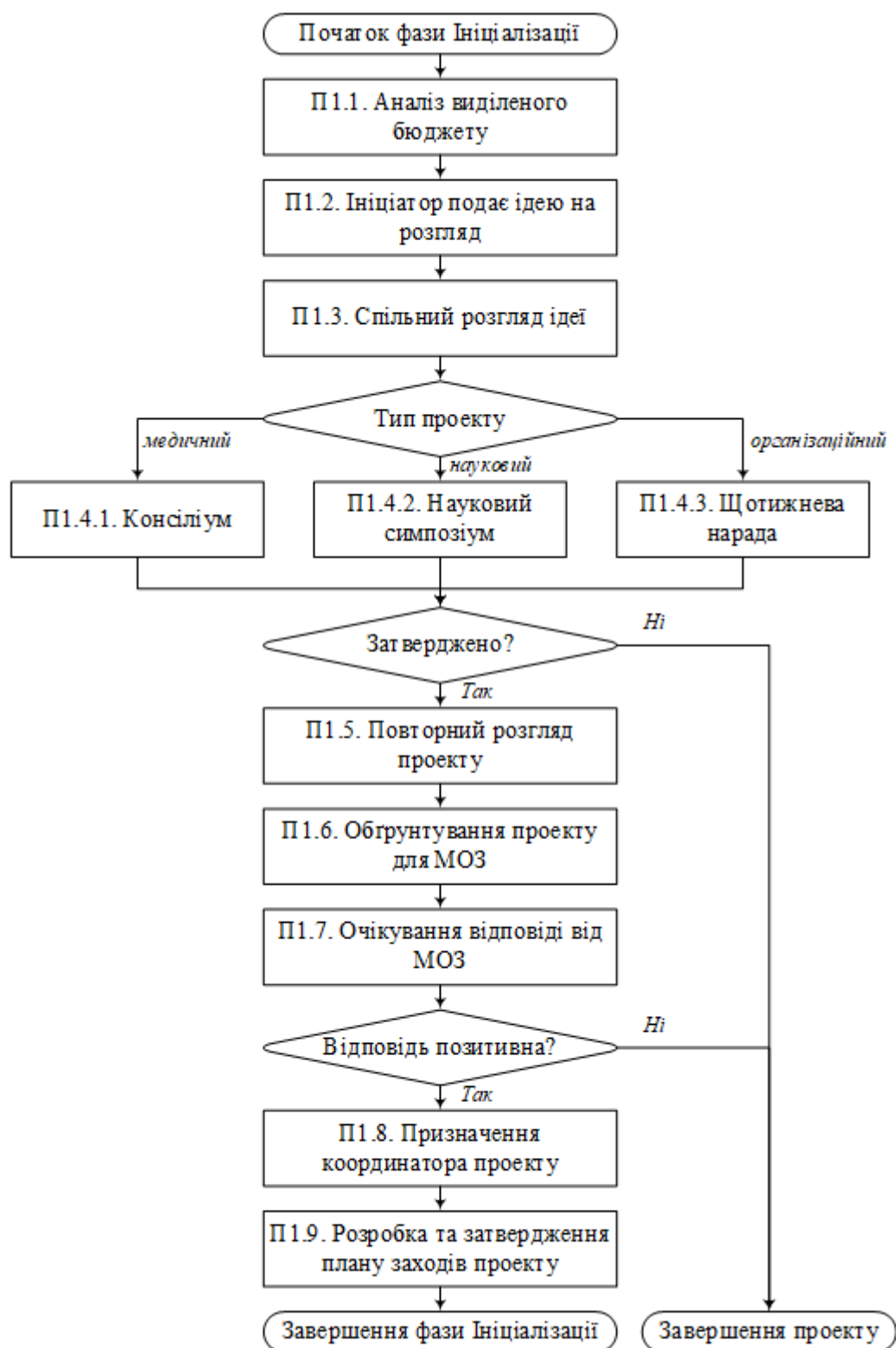


Рис. 1. Бізнес-процес «Як є» ініціалізації проекту в медичному закладі

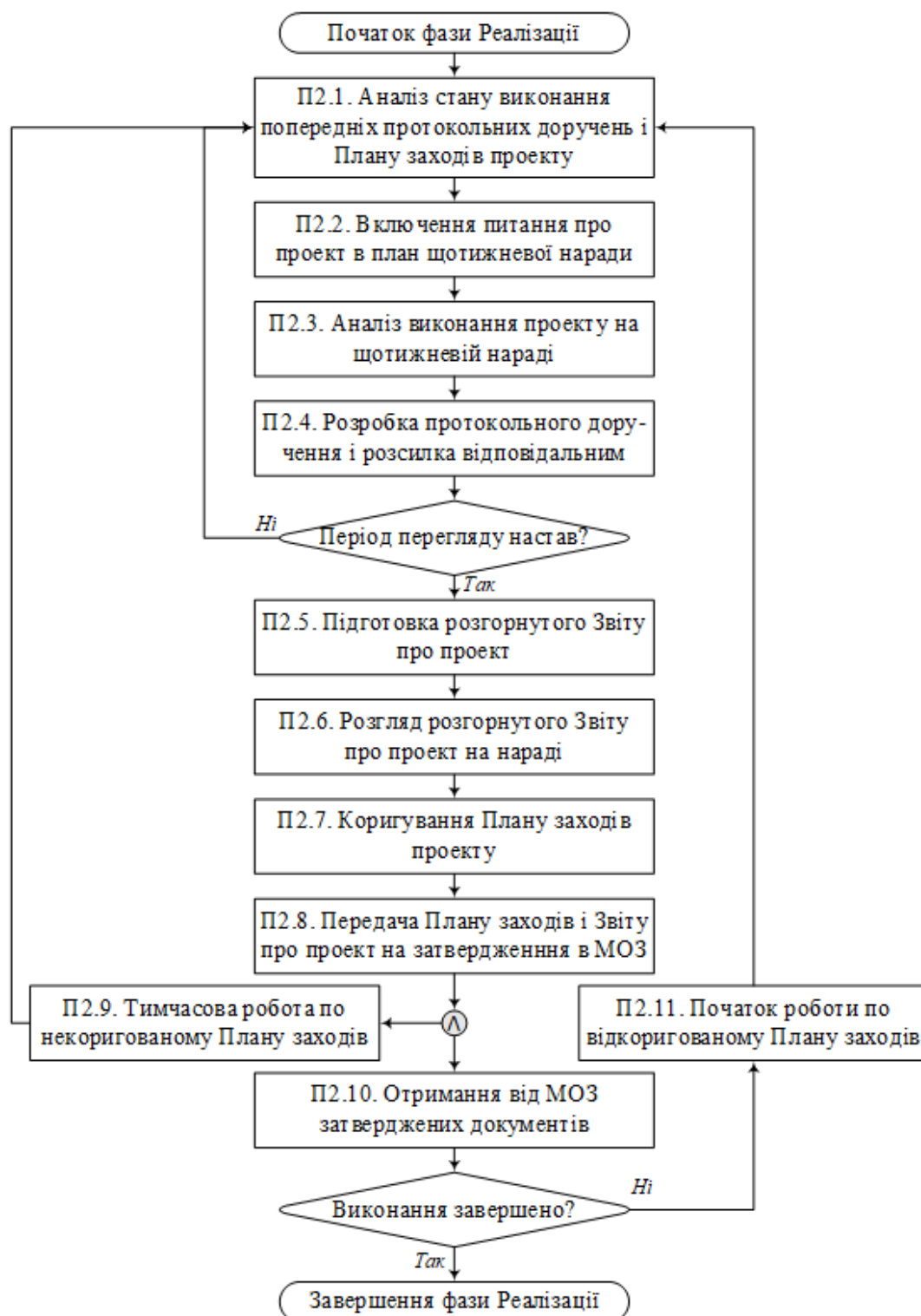


Рис. 2. Бізнес-процес «Як є» реалізації проекту в медичному закладі

До основних функцій координатора проекту входить:

- забезпечення для учасників проекту (які, як правило, виділяються в межах функціональної і слабкої матричної організаційних структур в окрему робочу групу, наказ про

створення якої видається у медичному закладі) часу і місця зустрічей спільної розробки (нарад);

- узагальнення і розповсюдження інформації для нарад учасникам проекту (членам робочої групи);

- узагальнення результатів діяльності робочої групи;
- представлення результатів роботи робочої групи по проекту керівництву проекту;
- залучення фахівців із-зовні для здійснення окремої діяльності по проекту.

Отже, окрім того, що координатор безпосередньо не відповідає перед керівництвом медичного закладу за проект (відповідальність за який покладається на керівництво, як правило, на першу особу або його заступника, і така відповідальність нечітка і розмита), повноваження координатора суттєво обмежені, зокрема щодо можливості його впливу на продуктивність роботи робочої групи, що є наступним суттєвим недоліком цієї моделі.

Як видно зі схеми бізнес-процесу (рис. 1), фаза планування не є суттєвою частиною процесу, зливається з ним, і виділяти її окремо недоцільно.

Розглянемо далі бізнес-процес реалізації проекту (рис. 2). Бізнес-процес виглядає як сукупність підпроцесів моніторингу виконання проекту і звітування по ньому. Однак, необхідно зазначити, що «Аналіз виконання проекту на щотижневій нараді» (П2.3) відбувається поряд із іншими питаннями, що на неї виносяться, а отже не є єдиним питанням наради. Внаслідок цього питання може бути розглянутим неповно або взагалі залишитися нерозглянутим, що не найкращим чином відображається на проектній динаміці.

Ще одною особливістю цієї моделі є те, що перегляд Плану заходів проекту (П2.5-2.8) відбувається вкрай нечасто, у кращому випадку раз на півроку.

Крім того, затвердження змін до Плану заходів проекту (затвердження відкоригованого Плану заходів) відбувається достатньо довго внаслідок складної і тривалої бюрократичної процедури в МОЗ.

Ще одною особливістю цього процесу є те, що з нього складно виділити процеси, що входять до фази завершення. Фактично така фаза у практиці медичних закладів відсутня.

Отже, можемо сформулювати основні недоліки моделей реалізації бізнес-процесу «Як є» у медичному закладі:

- відсутність повної відповідальності за проект у особи, яка займається проектом;
- відсутність особи, яка весь свій робочий час присвячує проекту;
- відсутність у координатора проекту мотиваційних важелів для прискорення і поліпшення якості реалізації проекту;

- недостатня детермінованість або повна відсутність фази планування і фази завершення проекту;

- значна тривалість окремих функцій бізнес-процесу, зокрема таких, що пов'язані з узгодженням або затвердженням його окремих результатів;

- надлишковість функцій у процесах з однієї сторони, і відсутність функцій, необхідних для ефективного управління проектом – з іншої.

Висновки

У статті наведені моделі бізнес-процесів «Як є» сучасних медичних закладів без інтеграції у них проектного управління, аналіз їх особливостей та недоліків. Визначені особливості та недоліки вказують на необхідність та мають слугувати направляючою інжинірингу існуючих процесів, побудови моделей бізнес-процесів «Як треба» в парадигмі сучасних напрацювань науки управління проектами, програмами і портфелями проектів з урахуванням специфіки управління медичними закладами та реалізації їх проектів.

Список літератури

1. Лепський В. В. Програмно-портфельне управління медичним закладом. *Управління проектами: стан та перспективи: матеріали 12-ї Міжнародної науково-практичної конференції*. Миколаїв: НУК, 2016. С.47–48.
2. Robson, M. Ullah, Ph. A Practical Guide to Business Process Re-Engineering. 1996. 159 p.
3. Лепейко Т. І., Котлик А. В. Реінжиніринг бізнес-процесів. Навчально-практичний посібник у схемах і таблицях. Харків: Вид. ХНЕУ, 2009. 80 с.
4. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York. NY: Harper Business, 1993. 223 p.
5. Integration definition for function modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication. USA, Computer Systems Laboratory of the National Institute of Standards and Technology (NIST). 1993 December 21. 183 p.
6. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth Edition. USA. – PMI, 2017. 756 p.

References

1. Lepskiy, V. V. (2016) Prohramno-portfelne upravlinnia medychnym zakladom [Program portfolio management of a medical institution]. Upravlinnia proektamy: stan ta perspektyvy: materialy 12 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Project Management: Status and Prospects: Materials of the 12th Int. Scientific and Practical Conf.]. Mykolaiv, NUK, pp. 44-48.
2. Robson, M. A., Ullah Ph. (1996) Practical Guide to Business Process Re-Engineering. 159 p.
3. Lepeiko, T. I. and Kotlik A. V. (2009) Reinzhyrnyh biznes-protsesiv. Navchalno-praktychnyi posibnyk u skhemakh i tablytsiakh [Reengineering of business processes. Educational and practical manual in charts and tables]. Kharkiv: View, KhNEU. 80 p.
4. Hammer, M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York. – NY: Harper Business, 1993. 223 p.
5. Integration definition for function modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication. USA, Computer Systems Laboratory of the National Institute of Standards and Technology (NIST). 1993 December 21. 183 p.
6. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth Edition. USA. – PMI, 2017. 756 p.

V. V. Lepskiy¹, *Candidate of Medical Sciences, PhD, doctoral student,
Department of Robotics and Special Computer Systems*
e-mail: cherkassymsek@ukr.net

T. V. Dziuba², *Senior Lecturer of the Department of Business Administration
and Project Management,*
e-mail: twdzub@gmail.com

¹Cherkasy State Technological University,
Shevchenko boulevard, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine,

²University of Economics and Law "KROK"
Lagerayas street, 30-32, Kyiv, Ukraine

MODELS OF PROJECT-ORIENTED MEDICAL INSTITUTION BUSINESS PROCESSES

The sphere of public health is one of the most important in the state, and at the same time one of the most problematic in Ukraine. The processes of globalization and European integration, the need to comply with international norms, requirements and standards, ensuring the provision of quality medical services to the population, the current state of the health care system with its definitive but rather outdated approach to the management of medical institutions, require a comprehensive system analysis, improvement existing leading experience and adaptation of project-oriented management to the medical sector.

The purpose of the article is to study existing models of business processes of medical institutions without integration of project management processes to determine further ways to increase their efficiency through the implementation of a project-oriented approach.

The analysis of models "How it is" of business processes, which reproduce the work of medical institutions without implementation processes and models of project management, namely models of business processes of initialization and implementation of projects, is analyzed. The main drawbacks of such models are formulated.

The identified features and disadvantages point to the necessity and should serve as the guiding for engineering of existing processes, the construction of business process models "As needed" in the paradigm of modern science management of projects, programs and project portfolios, taking into account the specifics of the management of medical institutions and the implementation of their projects.

Keywords: *medical institution, integrated management of project-oriented medical institution, business process, business process model, project, project phase.*

Т. Г. Фесенко¹, к.т.н., доцент,
професор кафедри будівництва та архітектури,
e-mail: fesenkotatyana@gmail.com

Мохамед Абдулсалам Сієк Алі², аспірант

¹ Луганський національний аграрний університет,
вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002, Україна

² Вищий навчальний заклад “Університет економіки та права “КРОК”,
вул. Табірна, 30-32, м. Київ, 03113, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ “RISK MANAGEMENT” В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЕКТАМИ

Окреслено базові процеси, методи та інструменти управління ризиками проектів в системі знань *Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Проаналізовано теоретико-практичні підходи до управління ризиковими подіями, що впливають на вартість, терміни, якість виконання будівельних проектів. Запропоновано виокремлення ризик-компонентів як вагової складової технологічної зрілості компанії-забудовника в управлінні будівельними проектами. Розроблено модель оцінки зрілості ризик-менеджменту в контексті розвитку управління ризиками будівельних проектів. Представлено математичний опис для оцінки п'яти рівнів зрілості ризик-менеджменту. Запропонований інструмент оцінювання може бути застосований дирекціями і топ-менеджментом будівельних та девелоперських компаній для проведення самооцінки прогресу у розвитку проектно-орієнтованого управління, а також вибору дій, необхідних для переходу на вищий рівень зрілості.

Ключові слова: зрілість ризик-менеджменту, управління будівельними проектами, компанія-забудовник.

Постановка проблеми. На сьогодні проектний менеджмент застосовується для організаційно-технічного забезпечення системи управління будівельними проектами та дозволяє суттєво посилювати її потенціал, отримувати синергетичний ефект. У методології проектного менеджменту представлені підходи, моделі, інструменти для постійного організаційного удосконалення (проектно-орієнтованого зростання). Втім, питання практичного їх застосування для конкретної галузі залишаються актуальними, у тому числі через існуючі ризики.

Ризик-менеджмент є критично важливою складовою управління будівельними проектами, особливо в умовах турбулентного проектного середовища. Зокрема, в Україні часто спостерігаються симптоми низької керованості будівельних проектів: значна кількість об'єктів вводиться в експлуатацію з перевищенням запланованого терміну, бюджету тощо. Крім того існують ризики, пов'язані із удосконаленням самої системи проектного менеджменту.

Аналіз останніх досліджень. Управління ризиками проектів окреслено системою знань *Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)* [1] і представлено сімома процесами:

1. *Планування управління ризиками* – процес визначення, яким чином буде здійснюватись управління ризиками в проекті.

2. *Ідентифікація ризиків* – процес визначення переліку ризиків, які можуть впливати на проект, а також документування їх характеристик (здатність команди проекту передбачати можливі ризикові події).

3. *Якісний аналіз ризиків* – процес встановлення пріоритетів ризиків з метою подальшого їх аналізу, оцінки вірогідності виникнення та розробки дій впливу.

4. *Кількісний аналіз ризиків* – процес кількісного аналізу впливу ідентифікованих ризиків на цілі проекту у цілому.

5. *Планування реагування на ризики* – процес розробки варіантів дій щодо розширення сприятливих можливостей для скорочення загроз цілям проекту.

6. *Імплементція впливу на ризики* – процес підтвердження що дії/заходи реагу-

вання на ризики виконуються відповідно до плану.

7. *Моніторинг ризиків* – процес моніторингу виконання планів реагування на ризики, відстеження виявлених ризиків, ідентифікація

та аналіз нових ризиків, оцінка управління ризиками протягом усього проекту.

Ефективне виконання процесів управління ризиками передбачає 15 видів “інструментів та методів” (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця кореляції процесів управління ризиками з “інструментами та методами” їх реалізації

Процеси управління ризиками проектів	Збір даних	Аналіз даних	Аудит	Стратегії				Розподіл ризиків	Представлення даних	Експертна оцінка	Міжособистісні та командні навички	Наради	База даних ефективних рішень	Прийняття рішень	Інформаційна система управління проектами
				загроз	можливостей	можливого реагування	загального реагування								
1. Планування управління ризиками		X								X		X			
2. Ідентифікація ризиків	X	X								X	X	X	X		
3. Якісний аналіз ризиків	X	X						X	X	X	X	X			
4. Кількісний аналіз ризиків	X	X								X	X	X			
5. Планування реагування на ризики	X	X		X	X	X	X			X	X			X	
6. Імплементация впливу на ризики										X	X				X
7. Моніторинг ризиків		X	X									X			

X – методи та інструменти, які застосовуються для реалізації процесу

Управлінню ризиками в будівельних проектах присвячено дослідження [2–7], автори яких акцентують увагу на окремі області знань управління проектами.

Зокрема, у роботах [2–3] розглядаються фінансові ризики інвестиційно-будівельних проектів та враховується функціональне призначення будівлі. Так, зменшення ризиків по вкладених інвестиціях у проекти житлового будівництва найбільш оптимальним вбачається шляхом застосування фондів фінансування будівництва та випуск безпроцентних (цільових) облігацій забудовниками [2]. Для удосконалення управління бюджетними ризиками проектів будівництва складних енергетичних об'єктів авторами роботи [3] запропоновано “протиризиковий метод управління бюджетуванням”, що передбачає створення фінансових та інформаційних резервів з періодичним проведенням аналізу “план-факт” та перерахунку бюджету.

Автори робіт [4–5] досліджують ризикові події, що впливають на терміни виконання будівельних робіт. Для усунення ризиків зриву термінів реалізації будівельних проектів пропонується в методиці розрахунку ризиків шляхом вводити показник виробітку працівників у минулих періодах [4], а також застосовувати нечітку логіку на етапі розробки календарного плану [5].

Управління ризикованими подіями, які пов'язані зі якістю та змістом будівельного проекту, автори [6–7] пропонують розглядати в контексті “надійності”. Також дослідники аналізують управління ризиками в контексті формування портфеля інвестиційно-

будівельних проектів [8], творчого підходу команди для управління девелоперського проекту [9].

Разом з тим, відмічається значимість ризик-менеджменту для організаційного розвитку компаній [10]. Слід зазначити, що базові параметри ризик-менеджменту у проектній діяльності окреслені у моделі зрілого управління проектами Project Management Maturity Model (PMMM) [11].

Для того, щоб управління будівельними проектами якісно покращило свою організаційно-технічну систему, необхідно сформува-ти реальну підтримку вищого керівництва і виконавців та запровадити у роботу команди проекту інструменти/засоби розвитку зрілості ризик-менеджменту компанії забудовника.

Метою даної роботи є розробка рішення щодо оцінки зрілості системи управління будівельними проектами (компанії-забудовника) в контексті Risk Management.

Виклад основного матеріалу. У моделі PMMM визначені ризик-контексти для кожного із п'яти рівнів зрілості проектного менеджменту:

на рівні 1 – термінологія – ризики (середнього ступеня) розглядаються у контексті можливих проявів “опору” змінам в організаційній структурі та повноваженнях команди проекту;

на рівні 2 – загальні процеси – ризики (середнього ступеня) розглядаються у залежності від підтримки керівництва у розробці

методології управління ризиками в проектах, опору змінам (ризиковим подіям), створення сталої корпоративної культури;

на рівні 3 – єдина методологія – управління проектами здійснюється в умовах “високих” ризиків. Розглядаються ситуації, коли під час запровадження єдиних стандартів проектного менеджменту для усієї компанії можуть виникати “слабкі місця” на рівні окремих організаційно-технічних структур;

на рівні 4 – бенчмаркінг – відбувається удосконалення процесів, процедур, операцій, моделей, методик й інструментів проектної діяльності. Формуються також умови для створення продукту проекту високої якості, унікальності, оптимальними ресурсами. Така ситуація характеризується “низьким” ризиком;

на рівні 5 – безперервне удосконалення – організація оцінює інформацію, отриману під час бенчмаркінгу, і приймає рішення про те, чи буде ця інформація включена до єдиної методології. Цей рівень також маркується як “низько-ризиковий”.

Визначення зрілості “Risk Management” в системі управління будівельними проектами (компанії-забудовника) ґрунтується на оцінці рівня наявності характеристик управління ризиками (табл. 2). Пропонується наступна шкала оцінювання: «1» – відповідність критерію в повній мірі; «0» – невідповідність критерію (критерій відсутній); «-1» – критерій має значну регресійну тенденцію.

Таблиця 2

Оцінка зрілості “Risk Management” в системі управління будівельними проектами (компанії-забудовника)

Рівні зрілості	Характеристика зрілості “Risk Management”
Рівень I: Термінологія	Визначення термінів: ✓ “Сприятливі можливості” – можливості, які мають позитивний вплив у майбутньому. ✓ “Ризики” – несприятливі події або результати у майбутньому. ✓ “Управління ризиками проекту” – функція зменшення невизначеності та втрат. ✓ “Аналіз чутливості” – оцінка зміни одного параметру проекту на весь проект у цілому. ✓ “Ідентифікація ризиків” – процес вивчення ситуації, виявлення і класифікація областей ризику. ✓ “Кількісний аналіз ризиків” – визначення вірогідності виникнення ризикових подій та їх наслідків. ✓ “Реагування на ризик” – техніки та методи, що застосовуються для зменшення або контролю ризиків. Розуміння та прийняття значень: ✓ Надійність прийняття рішень щодо управління ризиками оцінюється за трьома категоріями: визначеність, ризик і невизначеність. ✓ Найбільша невизначеність відбувається на фазі “прийняття концепції проекту”. ✓ Головна мета управління ризиками – зменшити наслідки ризикових подій.

Продовження табл. 2

Рівні зрілості	Характеристика зрілості “Risk Management”
Рівень II: Загальні процеси	Визнання вигід від реалізації та удосконалення процесів управління ризиками: – планування управління ризиками; – ідентифікація ризиків; – якісний аналіз ризиків; – кількісний аналіз ризиків; – планування реагування на ризики – імплементація впливу на ризики; – моніторинг ризиків.
Рівень III: Єдина методологія	3.1. Застосування процесів управління ризиками здійснюється паралельно з інжинірингом та загальним управлінням якістю. 3.2. Усі проекти ведуться із застосуванням “інструментів та методів” управління ризиками (табл. 1). 3.3. Процес управління ризиками в компанії-забудовника здійснюється з урахуванням фінансових, технічних та тимчасових ризиків. 3.4. Методологія управління ризиками в компанії-забудовника заснована на структурній методології, що підтримується на політиці, процедурах і стандартних формах для заповнення. 3.5. Для компанії-забудовника найбільш важливими є навички інтеграції та управління ризиками. 3.6. Заохочення менеджерів проектів за прийняття “ризикових рішень”
Рівень IV: Бенчмаркінг	4.1. Під час бенчмаркінгу виявлено, що для удосконалення управління ризиками необхідна більша деталізація/декомпозиція ієрархічної структури робіт. 4.2. Під час бенчмаркінгу досліджується, яким чином інші компанії-забудовники залучають своїх клієнтів (користувачів) до управління ризиками будівельного проекту. 4.3. Під час бенчмаркінгу досліджується, яким чином інші компанії-забудовники залучають своїх працівників до прийняття та застосування єдиної методології управління ризиками будівельних проектів, збільшуючи їх ефективність. 4.4. Під час бенчмаркінгу досліджується, яким чином інші компанії-забудовники управляють технічними ризиками. 4.5. Під час бенчмаркінгу досліджується, яким чином інші компанії-забудовники здійснюють “інструменти та методи” управління ризиками (табл. 1) в процесі паралельного інжинірингу.
Рівень V: Безперервне удосконалення	5.1. Удосконалення методології управління ризиками дозволяє компанії-забудовнику підвищити рівень клієнт-орієнтованості []. 5.2. Удосконалення програмного забезпечення для управління ризиками будівельних проектів. 5.3. Зміни умов роботи (залежно від специфіки об’єкту будівництва) забезпечують/підвищують раціональність методології ризик-менеджменту. 5.4. Зміни у взаємодії із клієнтами, користувачами приводять до змін в управлінні ризиками проекту. 5.5. У зв’язку зі змінами вимог будівельних проектів змінюються й “інструменти та методи” управління ризиками (табл. 1).

Цільова функція, що описує зрілість “Risk Management” в системі управління будівельними проектами (компанії-забудовника), набуває вигляду (1)–(10):

$$\Delta B_{RM} = \sum_d \sum_i \sum_u \sum_j \sum_n \sum_m \sum_a \sum_z \sum_g (I_d + S_i + T_u + C_j + Q_n + R_m + M_a + P_z + H_g) \rightarrow opt, \quad (1)$$

$$I = \{I_1, I_2, \dots, I_d\}, d = \overline{1, d'}, \quad (2)$$

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_i\}, i = \overline{1, i'}, \quad (3)$$

$$T = \{T_1, T_2, \dots, T_u\}, u = \overline{1, u'}, \quad (4)$$

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_j\}, j = \overline{1, j'}, \quad (5)$$

$$Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}, n = \overline{1, n'}, \quad (6)$$

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}, m = \overline{1, m'}, \quad (7)$$

$$M = \{M_1, M_2, \dots, M_a\}, a = \overline{1, a'}, \quad (8)$$

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_z\}, z = \overline{1, z'}, \quad (9)$$

$$H = \{H_1, H_2, \dots, H_g\}, g = \overline{1, g'}, \quad (10)$$

де I_d – оцінка управління ризиками, пов'язаними з інтеграцією будівельних проектів, d – кількісна оцінка здатності компанії-забудовника (В) управляти ризиками, пов'язаними з інтеграцією проектів, $d = \overline{1; d'}$; d' – експертна бальна оцінка компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними з інтеграцією будівельних проектів;

S_i – оцінка управління ризиками, пов'язаними зі змістом будівельних проектів, i – кількісна оцінка здатності компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними зі змістом проектів, $i = \overline{1; i'}$; i' – експертна бальна оцінка компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними зі змістом будівельних проектів;

T_u – оцінка управління ризиками, пов'язаними з розкладом будівельних проектів, u – кількісна оцінка здатності компанії-забудовника управляти розкладом проектів, $u = \overline{1; u'}$; u' – експертна бальна оцінка компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними з розкладом будівельних проектів;

C_j – оцінка управління ризиками, пов'язаними з вартістю будівельних проектів, j – кількісна оцінка здатності компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними з вартістю проектів, $j = \overline{1; j'}$; j' – експертна бальна оцінка компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними з вартістю будівельних проектів;

Q_n – оцінка управління ризиками, пов'язаними з якістю будівельних проектів, n – кількісна оцінка здатності компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними з якістю, $n = \overline{1; n'}$; n' – експертна бальна оцінка компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними з якістю будівельних проектів;

R_m – оцінка управління ризиками, пов'язаними з ресурсами будівельних проектів, m – кількісна оцінка здатності компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними з ресурсами проектів, $m = \overline{1; m'}$; m' – експертна бальна оцінка компанії-

забудовника управляти ризиками, пов'язаними з ресурсами будівельних проектів;

M_a – оцінка управління ризиками, пов'язаними з комунікаціями будівельних проектів, a – кількісна оцінка здатності компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними з комунікаціями проектів, $a = \overline{1; a'}$; a' – експертна бальна оцінка компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними з комунікаціями будівельних проектів;

P_z – оцінка управління ризиками, пов'язаними із закупівлями будівельних проектів, z – кількісна оцінка здатності компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними із закупівлями проектів, $z = \overline{1; z'}$; z' – експертна бальна оцінка компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними із закупівлями будівельних проектів;

H_g – оцінка управління ризиками, пов'язаними із стейкхолдерами будівельних проектів, g – кількісна оцінка здатності компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними із стейкхолдерами проектів, $g = \overline{1; g'}$; g' – експертна бальна оцінка компанії-забудовника управляти ризиками, пов'язаними із стейкхолдерами будівельних проектів.

Обмеження цільової функції зрілості “Risk Management” компанії-забудовника представлені в табл. 3, а математична модель (1)–(10) набуває вигляду:

$$\Delta B_{RM} = \sum_d^{d'} \sum_i^{i'} \sum_u^{u'} \sum_j^{j'} \sum_n^{n'} \sum_m^{m'} \sum_a^{a'} \sum_z^{z'} \sum_g^{g'} (I_d + S_i + T_u + C_j + Q_n + R_m + M_a + P_z + H_g) \rightarrow opt,$$

$$\begin{cases} M_I \in S \cup T \cup C \cup Q \cup R \cup H, \\ M_{II} \in A \cup S \cup T \cup C \cup Q \cup R \cup M \cup P \cup H, \\ M_{III} \in A \cup S \cup T \cup C \cup Q \cup R \cup M \cup P \cup H, \\ M_{IV} \in A \cup S \cup T \cup C \cup Q \cup R \cup M \cup P \cup H, \\ M_V \in A \cup S \cup T \cup C \cup Q \cup R \cup M \cup P \cup H. \end{cases} \quad (11)$$

Траєкторія розвитку зрілості ризик-менеджменту компанії-забудовника матиме наступний вигляд:

$$N \in M_I \cup M_{II} \cup M_{III} \cup M_{IV} \cup M_V. \quad (12)$$

Таблиця 3

Обмеження цільової функції зрілості “Risk Management” компанії-забудовника

Управління ризиками, пов’язаними з областями знань проектного менеджменту	Рівні зрілості “Risk Management”				
	I (M _I)	II (M _{II})	III (M _{III})	IV (M _{IV})	V (M _V)
Управління інтеграцією (I)	0	0,3	0,8	0,9	1
Управління змістом (S)	0,25	0,5	0,8	0,9	1
Управління термінами (T)	0,2	0,5	0,8	0,9	1
Управління вартістю (C)	0,2	0,5	0,8	0,9	1
Управління якістю (Q)	0,2	0,5	0,8	0,9	1
Управління ресурсами (R)	0,2	0,5	0,8	0,9	1
Управління комунікаціями (M)	0	0,3	0,8	0,9	1
Управління закупівлями (P)	0	0,3	0,8	0,9	1
Управління стейкхолдерами (H)	0,25	0,5	0,8	0,9	1

Оптимальний рівень зрілості ризик-менеджменту компанії-забудовника визначається:

$$opt = \frac{\partial B_{RM_{x+1}}}{\partial B_{RM_x}}, \quad (13)$$

де B_{RM_x} – складна організаційно-технічна система управління проектами і програмами компанії-забудовника, що знаходиться на x рівні зрілості з ризик-менеджменту;

$B_{RM_{x+1}}$ – складна організаційно-технічна система управління проектами і програмами компанії-забудовника, що перейшла на наступний $(x+1)$ рівень зрілості з ризик-менеджменту.

Глобальний критерій розглядається як вимір зрілості компанії-забудовника з ризик-менеджменту і визначається:

$$M_{RM_x} = \sum_{i=1}^9 \alpha_i \times v_i, \quad (13)$$

де α_i – вагові коефіцієнти, $i = \overline{1;9}$, (9 – кількість областей знань управління проектами); v_i – сума обмежень цільової функції зрілості РМО_G (табл. 3).

Розроблені інструменти оцінювання зрілості ризик-менеджменту компанії-забудовника є важливими для удосконалення системи моніторингу і аналізу проектно-орієнтованого (ризик-сталого) управління будівельними проектами. Застосування розробленого аналітичного інструментарію буде корисним у проектній діяльності будівельних та девелоперських компаній, а також структур капітального будівництва в органах міс-

цевого самоврядування, які виконують будівельні проекти та програми. Авторський підхід потребує подальшого науково-практичного розвитку у напрямі роботи з конкретними даними.

Висновки. Розроблено матрицю оцінки зрілості “Risk Management” в системі управління будівельними проектами (компанії-забудовника), яка представлена характеристиками здійснення ризик-менеджменту. Встановлено, що застосування цієї моделі дозволить дирекціям компаній-забудовників і топ-менеджменту організацій, які реалізують будівельні проекти і програми, проводити самооцінку прогресу у розвитку управління ризиками проектів та обирати дії, необхідні для переходу на вищий рівень зрілості.

Список літератури

1. A Guide to the project management body of knowledge Construction (PMBOK® Guide). – USA: Project Management Institute, 2016. 489 p.
2. Рибак А. І. Азарова І. Б. Аналіз механізмів фінансування будівельних проектів в галузі житлового будівництва. Ринковий механізм фінансування. *Управління розвитком складних систем*. 2014. № 18. С. 88–97.
3. Данченко О. Б., Оберемок І. І., Донець О. М. Методи управління бюджетними ризиками при будівництві складних енергетичних об’єктів. *Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. пр.* Луганськ: вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2004. № 3 (11). С. 58–66.

4. Ревякін О. В. Дослідження усунення негативного впливу виробничих ризиків на терміни реалізації будівельних проєктів. *Вісник Хмельницького національного університету*, 2015. № 3. Т. 3. С. 222–224.
5. Алтухов Д. В., Тугай О. А. Календарне планування в сучасних умовах. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 2015. Вип. 34. С. 31–39.
6. Молодецький В. Р., Загуменнова А. В., Молошкіна Н. Ю. Концепція надійності в організації будівельного виробництва. *Вісник ПДАБА*, 2014. № 4. С. 19–24.
7. Азарова І. Б. Управління ризиками проєктів у галузі житлового будівництва. *Управління розвитком складних систем*. 2015. № 23 (1). С. 11–20.
8. Фесенко Т. Г. Формування змісту портфеля інвестиційно-будівельних проєктів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія : Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами*. Х. : НТУ «ХПІ». 2014. № 2 (1045). С. 45–52. DOI: 10.20998/2413-3000.2014.1045.8.
9. Серіков А. В. Семенова Г. І. Креативне управління ризиками – важлива проблема Українського деєлопменту. *Економіка будівництва і міського господарства*. 2008. Том. 4. № 3. С. 137–144.
10. Фесенко Т. Г., Мохамед Абдулсалам Сієк Алі. Ризик-менеджмент в контексті моделі зрілості управління будівельними проєктами. *Управління проєктами розвитку суспільства. Тема: «Управління проєктами в умовах переходу до поведінкової економіки»: тези доповідей / відп. за випуск С. Д. Бушуєв*. Київ: КНУБА, 2018. С. 217–220.
11. Kerzner H. Strategic planning for project management using a project management maturity model. New York: John Wiley & Sons, 2001. 256 p.
- proektiv v haluzi zhytlovoho budivnytstva. Rynkovyy mekhanizm finansuvannya [Analysis of mechanism soffinancing of buildpro jectsinarea of housing building. Market mechanism of financing]. *Management of Development of Complex Systems*, No. 18, pp. 88–97.
3. Danchenko, O. B., Oberemok, I. I., Donec, O. M. (2004) Metody upravlinnya byudzhetnymy ryzykamy pry budivnytstvi skladnykh enerhetychnykh ob'ektiv [Methods of budget risk management in building complex power objects]. *Project management and production development*, No. 3 (11), pp. 58–66.
4. Reviakin, V. O. (2015). Doslidzhennya usunnennya nehatyvnoho vplyvu vyrobnychykh ryzykiv na terminy realizatsiyi budivel'nykh proektiv [Research elimination of the negative impact of production risks in terms of implementation of construction projects]. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu* [Bulletin of the Khmelnytsky National University], No. 3(3), pp. 222–224.
5. Altukhova, D. V., Tugay, O. A. (2015) Kalendarne planuvannya v suchasnykh umovakh [Scheduling in modern conditions]. *Shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannya rynkovykh vidnosyn* [Ways of increasing the efficiency of construction in conditions of formation of market relations], No. 34, pp. 31–39.
6. Mlodets'ky, V. R., Zahumennova, A. V., Moroshkina, N. Yu. (2014) Kontseptsiya nadiynosti v orhanizatsiyi budivel'noho vyrobnytstva [Concept of reliability in organization of construction production]. *Visnyk PDABA* [Bulletin of the Pridneprovsk Academy of Civil Engineering and Architecture], No. 4, pp 19–24.
7. Azarova, I. (2015). Upravlinnya ryzykamy proektiv u haluzi zhytlovoho budivnytstva [Risk management of project in housing building]. *Management of Development of Complex Systems*, No. 23, pp. 11–20.
8. Fesenko, T. G. (2014). Formuvannya zmistu portfelya investytsiyno-budivel'nykh proektiv [Formation of the contents of a portfolio of investment and construction projects]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya : Stratehichne upravlinnya, upravlinnya port-*

References

1. A Guide to the project management body of knowledge Construction (PMBOK® Guide) (2016) USA: Project Management Institute, 489.
2. Rybak, A. I., Azarova, I. B. (2014) Analiz mekhanizmv finansuvannya budivel'nykh

- felyamy, prohramamy ta proektamy* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic Management, Portfolio Management, Programs and Projects], No. 2 (1045), pp. 45–52. doi: 10.20998/2413-3000.2014.1045.8.
9. Syerikov, A. V., Semenova, H. I. (2008). Kreatyvne upravlinnya ryzykamy – vazhlyva problema Ukrayins'koho developmentu [Creative risk management is an important issue of Ukrainian development]. *Ekonomika budivnytstva i mis'koho hospodarstva* [Economics of construction and municipal economy], No. 4(3), pp. 137–144.
10. Fesenko, T. G., Mohamed Addulsalam Seek Ali (2018). Ryzyk-menedzhment v konteksti modeli zrilosti upravlinnya budivel'nymy proektamy [Risk management in the context of the model of maturity management of construction projects]. *Upravlinnya proektamy rozvytku suspil'stva. Tema: «Upravlinnya proektamy v umovakh perekhodu do povedinkovoyi ekonomiky»*: tezy dopovidey [Management of community development projects. Topic: "Project Management in the Transition to a Behavioral Economy": Abstracts of Reports], Kyiv: KNUBA, pp. 217–220.
11. Kerzner, H. (2001). Strategic planning for project management using a project management maturity model. New York: John Wiley & Sons, 256.

T. G. Fesenko¹, *Candidate of Technical Sciences, PhD, Professor,*
Department of Engineering and Architecture,
e-mail: fesenkotatyana@gmail.com

Mohamed Addulsalam Seek Ali², *PhD-student,*

¹ Luhansk National Agrarian University,
Alchevskykh str., 44, Kharkiv, 61002, Ukraine

² Institution of higher education University of Economics and Law KROK
Tabirna st., 30–32, Kyiv, 03113, Ukraine,

MODELING OF “RISK MANAGEMENT” ASSESSMENT IN THE CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT SYSTEM

The basic processes, methods and tools of the project risk management in the knowledge system “Guide to the Project Management Body of Knowledge” outlined. The theoretical and practical approaches to managing risk events affecting the cost, terms, quality of construction projects analysed. The correlation matrix of risk management processes to “tools and methods” of their implementation compiled.

It is proposed to highlight the risk components as an important condition for the developer's technological maturity in construction projects, programs, portfolio management. The risk management maturity model for the context of construction project risk management is developed. The mathematical description for the evaluation of five maturity levels of risk management presented. The restrictions of the target function of maturity “Risk Management” for each of the levels defined.

The developed assessment tool is applicable for the work of top management of construction and development companies. It will be useful to self-assess progress in the development of risk-sustainable management. It is effective in choosing the actions necessary to move to a higher level of maturity. It is noted that the author's approach requires further scientific and practical development in the direction of operations with specific data.

Keywords: risk management maturity, construction project management, construction developer company.

Запорожець А. О., студентка,
Запорожець М. В., студент
Черкаський державний технологічний університет,
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТАЙМ-МЕНЕДЖМЕНТУ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ

У статті викладено результати емпіричного дослідження сучасних методів тайм-менеджменту. Аналіз літератури показав, що для планування робочого часу проектного менеджера та проектною командою доцільним є застосування основ тайм-менеджменту, що використовують для організації особистого часу. У роботі описані основні методи: розбиття задач на підзадачі, використовуючи дерево цілей та розподіл завдань між проектною командою, методи АБВ та Матриці управління часом. Як результат розроблено інструкцію для менеджера, що допоможе ефективно управляти проектами.

Ключові слова: тайм-менеджмент, управління проектами, планування, організація робочого часу, розподіл задач, дерево цілей, метод АБВ, матриця управління часом.

Постановка задачі. Тайм-менеджмент на даний час стрімко набирає популярності: його використовують як на роботі так і вдома. Використання принципів тайм-менеджменту в робочому процесі набагато полегшить та прискорить виконання важливої роботи, а, головне, суттєво підвищиться ефективність працівників.

Аналіз досліджень та публікацій. Дослідженням тайм-менеджменту присвячено велику кількість статей. Але здебільшого вони стосуються організації власного часу та особистого планування. Однак організації робочого процесу менеджера не приділяється досить уваги. У цьому разі потрібно охопити значно більше: не тільки власну роботу, а й завдання всіх підлеглих.

Так, наприклад, Стівен Кові у своїй праці [1] описує, як можна спланувати власний час, визначивши основну власну мету, призначення. Він наголошує: «Який сенс поспішати підніматися по драбині вгору, якщо вона приставлена не до тієї стіни». Отже, він вказує на важливість пошуку своєї мети.

Ден Кеннеді у своїй роботі [2] стверджує, що головний секрет особистого і фінансового успіху «залежить від того, наскільки розумно ви використовуєте свій час і наскільки дозволяєте іншим його у вас викрадати». Його погляди відрізняються від інших авторів, і такі принципи підходять не для всіх.

Більшість використовує метод розділення задач АБВ, проте Олександр Мельник один із тих відомих менеджерів, який вико-

ристовує та описує матрицю управління часом (часто трапляється в дослідженнях під назвою матриця Ейзенхауера). Докладний опис методу представлено автором у роботі [3]. Цей метод детально проаналізований та пропонується для використання в управлінні проектами.

Мета статті полягає в створенні інструкції ефективного планування та використання робочого часу для проектного менеджера на основі обґрунтування та аналізу застосування сучасних методів тайм-менеджменту в управлінні проектами.

Виклад основного матеріалу. Основним правилом, яким має керуватися кожен проектний менеджер на передінвестиційній фазі проекту, згідно з [3], є правило 6П: «правильне попереднє планування запобігає поганим показникам».

Для проектного менеджера планування забезпечує можливість урахування всіх завдань. Однак необхідно також врахувати людський чинник, зважаючи на швидку стомлюваність, безмежну пам'ять та низький рівень зосередженості. Тому для проектного менеджера важливим є планування робочого дня, що дасть змогу забезпечити спрощення навігації з-поміж великої кількості завдань та фокусування на всіх деталях.

Крім того, планування дозволяє визначити пріоритетні завдання. Це дає змогу зосередити свою увагу на вирішенні головних задач замість того, щоб марнувати значну частину робочого часу на другорядні справи.

Перед початком роботи над будь-яким проектом потрібно обов'язково виконати досконале планування. Але, на жаль, не завжди вдається побудувати правильний план. Саме для цього й використовується тайм-менеджмент.

У статті [4] автор вказує, що створений план має бути в постійному доступі в кожного члена команди. Це забезпечує чітке визначення списку робіт для кожного співробітника. Така відкритість допоможе покращити ефективність роботи на 25 % та збільшити мотивацію, адже співробітник підсвідомо зрозуміє, що йому довіряють, надаючи інформацію інших співробітників. І водночас нічого зайвого (того, що підлеглий не має знати) він і не знатиме.

У проекті велика кількість завдань, які необхідно реалізувати. У цьому разі людський мозок вибирає легші завдання. Однак найскладніші та найважливіші задачі вимагають залучення великої кількості членів проектною команди. Тому виконавці вирішують завдання, але не продуктивно.

Першочерговою проблемою в тайм-менеджменті є визначення найбільш важливих робіт. Встановлення пріоритетів дає змогу створити ефективний план, у якому кожне завдання матиме свій рівень важливості. Це досить важко зробити, адже здебільшого людина вважає важливими ті завдання, вирішення яких потрібне терміново. Але це неправильний підхід.

Зважаючи на це, необхідно розділити задачі за ступенем важливості, однак терміновість не має бути основним критерієм. Запропоноване завдання вирішується різними методами. Одним із методів є метод АБВ. Це один із простих способів планування, і полягає він у тому, щоб кожне завдання зі списку робіт мало власний пріоритет.

У роботах [5, 6] міститься повний опис методу АБВ. Кожне завдання відносять до класу А, Б чи В. У класі А містяться найважливіші завдання – приблизно 15 % від усіх завдань, але важливі вони на 65 % із 100 %. У класі Б – менш важливі завдання (20 % важливості), вони складають 20 % від усіх завдань. У класі В містяться найменш важливі завдання (важливі на 15 %), але вони складають 65 % від усіх завдань.

Цей метод досить ефективний, але не у всіх випадках.

Існує інший метод – побудова матриці управління часом (матриця Ейзенхауера). Докладно він описаний у роботі [1], і як приклад показано організацію особистого часу. Згідно з цим методом (рис. 1), на відміну від попереднього, враховується важливість та терміновість кожного завдання. Тому автори пропонують використати цей метод для організації робочого часу в управлінні проектом.

	Терміново	Не терміново
Важливо	I	II
Неважливо	III	IV

Рис. 1. Матриця управління часом

Перший сектор містить ті задачі, які є одночасно терміновими та важливими. Якщо не акцентувати увагу на цих завданнях, то надалі в проекті можуть виникнути ситуації, що впливають негативно на ефективність проекту.

Другий сектор містить важливі задачі, вирішення яких можна відтермінувати. Однак вони можуть мати вирішальний вплив у майбутньому, тому для них необхідно передбачити резервний час.

Третій сектор – це термінові неважливі задачі. Планування часу на такі завдання не даватиме позитивного результату й може вплинути на ефективність проекту. Тому такі задачі необхідно розподіляти між членами проектною команди або зменшувати їхню кількість. Прикладом таких завдань можуть бути телефонні дзвінки, листи, деякі зустрічі.

До четвертого сектора належать задачі, які й не важливі, й нетермінові, тобто ті, які не впливають на ефективність проекту. Такі завдання необхідно викреслити зі списку проектного менеджера.

Розподіл усіх робіт проектного менеджера за секторами забезпечує можливість класифікації завдань за ознакою важливості, що

потребує неабияку кількість часу. Така матриця допомагає знайти непотрібні задачі і їх уникнути.

У разі виникнення великої кількості завдань у першому секторі необхідно визначити пріоритетність кожного завдання. Для цього слід ранжувати весь список, що забезпечує полегшення планування.

Там розміщені задачі, які є терміновими, але не такими важливими, як у першому секторі. Тоді необхідно здійснити розподіл завдань згідно з принципом тайм-менеджменту, що в [7] визначається, як делегування обов'язків.

Розподіл робіт між членами проектної команди впливає на ефективність проекту. Тому важливим є правильний розподіл завдань між членами проектної команди з урахуванням особистих характеристик.

Унаслідок аналізу робіт [7] та [8] автори пропонують таку процедуру ефективного розподілу задач між членами проектної команди:

1. Визначити завдання. Найважливіша умова ефективного розподілу – встановити, для яких саме завдань необхідно призначити інших виконавців. Відповідно необхідно чітко визначити завдання, які має виконувати проектний менеджер особисто, та за які він відповідає. Крім того, не варто віддавати пріоритетні задачі й завдання з високим ризиком. Якщо ж розподіл робіт доцільний, то необхідно максимально просто та зрозуміло сформулювати завдання.

2. Коректно призначити виконавця. Водночас необхідно проаналізувати можливість та особисту характеристику співробітника.

3. Мотивувати обраного виконавця через пояснення необхідності виконання саме цієї задачі. Визначити критерії якості результату. Для найкращого результату та мотивації підлеглий має бути повністю обізнаним у причині та цілі виконання.

4. Чітке визначення цілі. Доступно пояснити мету задачі та яким має бути результат виконання. Найкраще, якщо інформація буде в письмовому вигляді. Непорозуміння на цьому етапі не призведе до очікуваного результату, тому треба впевнитись у тому, що співробітник усе зрозумів.

5. Встановлення часових рамок. Терміни – важливе питання для менеджера (особливо в тайм-менеджменті). Працівник має спланувати роботу, щоб встигнути виконати

завдання. Методи перевірки та контролю мають погоджуватися на цьому етапі також. Якщо не обговорити це заздалегідь, то моніторинг буде сприйматись, як втручання в роботу, що призведе до втрати довіри.

6. Підтримка та спілкування. Проектний менеджер мусить проінформувати членів проектної команди про призначення конкретного виконавця на ту чи іншу задачу.

7. Зворотний зв'язок. Важливо, щоб виконавець був поінформований про можливість та засоби зворотного зв'язку під час виконання завдання. Якщо результат не збігається з вимогами, то необхідно переглянути з виконавцем причини та зміни під час виконання завдань.

Контроль виконання розподілу робіт призведе до успішної реалізації проекту.

У роботі [3] автор описує найбільш поширені помилки проектних менеджерів. Проведений аналіз показав, що однією з помилок проектних менеджерів є неправильно та неточно сформульоване завдання або визначені його масштаби. Це пов'язано з такими особистими характеристиками проектного менеджера, як компетентність, конформізм, креативність, самокритичність.

Тому для зменшення впливу необхідно об'ємні завдання розділити на етапи та підзадачі. У результаті визначається структура завдання, що дає змогу зробити її розподіл або оптимізацію. За такої умови задача не буде громіздкою та являє собою набір не складних дій у заздалегідь зрозумілій послідовності.

Для структуризації завдань доцільно використовувати дерево цілей. Згідно з [9], дерево цілей – це графічне зображення зв'язку між цілями й засобами їхнього досягнення, побудоване за принципом дедуктивної логіки та з використанням евристичних процедур.

Схема є «деревом» тому, що в результаті отримується ієрархія, подібна до дерева, де від генеральної цілі розгалужуються локальні цілі, які допомагають у досягненні цілей найвищого рівня.

Схематичне зображення дерева цілей представлено на рис. 2.

Для того, щоб ефективно побудувати дерево цілей, необхідно взяти до уваги правила, описані в [10]. Одним із таких правил є повнота описаних цілей, тобто кожна ціль має бути представлена як підцілі нижчого рівня. Отже, об'єднання всіх цілей повністю описує генеральну мету.



Рис. 2. Дерево цілей

Проектному менеджеру необхідно чітко розуміти, що для досягнення генеральної цілі спочатку потрібно досягнути мету кожної локальної цілі.

Продовжувати розбиття на підзадачі потрібно доти, поки завдання найнижчого рівня не стане максимально легким та зрозумілим. Це забезпечить точніше та конкретніше формулювання задачі для виконавця та спростить контроль виконання.

Висновки. Для ефективного планування робочого процесу варто брати до уваги пріоритет кожної з робіт. Встановлення рівня важливості завдань дає змогу заощадити час, уникнути неефективної роботи членів проектної команди та досягнення визначеної мети проекту.

Для поділу робіт на пріоритетні і другорядні можна використовувати метод АБВ, проте доцільніше внести завдання в матрицю управління часом. У результаті заповнена матриця дає змогу побачити задачі, виконання яких – недоцільне використання часу.

Розташування завдань у матриці управління часом вимагає концентрації уваги та цілеспрямованості. Необхідно докладно та всебічно проробити кожну задачу, щоб завдання з третього сектора не потрапило в перший. Людський чинник здатен призвести до того, що проектний менеджер віднесе в перший сектор матриці другорядне завдання лише через те, що воно термінове.

Розподіл робіт допоможе ефективно спланувати час для виконання завдань із першого сектора матриці управління часом. Крім того, розподіл задач корисний не лише для проектного менеджера, але і для членів проектної команди, тобто це приводить до розвитку особистості та заохочення підлеглих, а

також дає змогу набути досвід, щоб узяти на себе ще більшу відповідальність.

Громіздкі задачі необхідно розбивати на підзадачі і продовжувати процес доти, поки в результаті не отримано прості завдання, які легко виконати. Для декомпозиції робіт доцільно використовувати метод побудови дерева цілей.

Унаслідок проведеного аналізу методів тайм-менеджменту запропоновано:

1. Визначити, які задачі мають найвищу пріоритетність, а які термінові, проте не важливі.
2. Спростити завдання, розбити глобальну ціль на локальні підзадачі.
3. Визначити, які завдання повинен виконувати тільки проектний менеджер, а які можна розподілити між виконавцями.
4. Перевірити ефективність спланованого робочого часу.

Застосування розглянутих методів тайм-менеджменту в управлінні проектами забезпечить підвищення продуктивності як проектного менеджера, так і членів проектної команди, що впливає на загальну ефективність проекту.

Список літератури

1. Covey S., Merrill R., Merrill A. First Things First: To Live, to Love, to Learn, to Leave a Legacy, 1995. 385 с.
2. Kennedy D. K. Time Management for Entrepreneurs: The Ultimate No Holds Barred Kick Butt Take No Prisoners Guide to Time Productivity and Sanity, 2017.
3. Мельник А. Ошибки тайм-менеджмента и как их избегать: советы от Worksection. URL: <https://www.imena.ua/blog/time-management-mistakes/>.
4. Бойко О. Тайм-менеджмент. Планирование и управление рабочим временем. 2014. URL: <https://blog.aweb.ua/uspets-vse-plan-rabochego-vremeni-internet-marketologa/>.
5. Тайм-менеджмент: простые способы управления временем. URL: <http://psyfactor.org/lib/time-management-2.html>.
6. Встановлення пріоритетів за допомогою аналізу АБВ. 2014. URL: <http://library.if.ua/book/3/407.html>.
7. Delegation – how to. URL: <https://www.businessballs.com/team-management/delegation-how-to-112/>.

8. Делегирование задач. URL: <https://www.prostoy.ru/112.html>.
9. Дерево целей. URL: http://infomanagement.ru/lekciya/Derevo_celej.
10. Дерево целей. URL: <http://kak-bog.ru/derevo-celey>.

References

1. Covey, S., Merrill, R., Merrill, A. (1995) First Things First: To Live, to Love, to Learn, to Leave a Legacy. 385 с.
2. Kennedy, D. K. (2017) Time Management for Entrepreneurs: The Ultimate No Holds Barred Kick Butt Take No Prisoners Guide to Time Productivity and Sanity.
3. Melnik, A. (2014) Errors of time management and how to avoid them: advice from Worksection. URL: <https://www.ime-na.ua/blog/time-management-mistakes/>.
4. Boyko, O. (2014) Time management. Planning and management of working time. URL: <https://blog.aweb.ua/uspets-vse-plan-rabochego-vremeni-internet-marketologa/>
5. Time management: simple ways to manage time. URL: <http://psyfactor.org/lib/time-management-2.html>.
6. Prioritization by ABC analysis URL: <http://library.if.ua/book/3/407.html>.
7. Delegation – how to URL: <https://www.businessballs.com/team-management/delegation-how-to-112/>.
8. Delegating tasks URL: <https://www.prostoy.ru/112.html>.
9. Target tree. URL: http://infomanagement.ru/lekciya/Derevo_celej.
10. Target tree. URL: <http://kak-bog.ru/derevo-celey>.

A. O. Zaporozhets, MA,

M. V. Zaporozhets, MA

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

USE OF TIME MANAGEMENT METHODS IN PROJECT MANAGEMENT

This article contains information and results of investigation related to modern methods of time management. A lot of managers are dedicated to self-management and self-time-management only. Very small amount of articles dedicated to team-time-management at all.

Among several the most popular methods of time-management we can headline ABC-method, that are very common in use, but all requirements of the project management could be covered by the time-management matrix aka the Eisenhower's matrix. Also this article consist description the following methods: target tree and delegation of tasks. Results of investigations in this article would help to manage big teams in the process of work.

Keywords: time management, project management, planning, organization of working time, delegation of tasks, target tree, ABC method, matrix of time management.

УДК 621.3

А. Я. Кулик, д.т.н., професор,

e-mail: kulyk@vnmu.edu.ua

Т. Г. Ревіна,

e-mail: tatiana@vnmu.edu.ua

М. В. Боднар,

e-mail: shargorod0523@gmail.com

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова,
вул. Пирогова, 56, Вінниця, 21018, Україна

РЕЄСТРАЦІЯ І ОБРОБЛЮВАННЯ СИГНАЛУ ЕЕГ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛІНОМІВ ЧЕБИШЕВА

При фізіологічних дослідженнях для оцінки активності головного мозку важливою умовою є зняття електроенцефалограми. У статті розглянуті питання побудови комп'ютерної системи для реєстрації ЕЕГ з використанням режиму переривань на рівні структури та алгоритмічного забезпечення. В залежності від методики реєстрації система містить від трьох до шістнадцяти амплітудних вимірювальних каналів. Для відфільтровування високочастотних завад пропонується додаткова процедура цифрової фільтрації з використанням поліномів Чебишева. Проведені розрахунки показали її ефективність. Пропонується методика оцінки мінімальної довжини реалізації.

Ключові слова: електроенцефалограма, комп'ютерна система, цифрова фільтрація.

Актуальність. Головний мозок – найбільший орган центральної нервової системи. До нього входить близько 2600000 нервових волокон, а виходить близько 400000. Відповідно до приблизних оцінок мозок містить більше ніж 10^{13} нейронів, які забезпечують більше ніж 10^{16} взаємних сполучень [1 – 5]. Якщо припустити, що всі нейрони працюють паралельно, то на кожний з них припадає від 10000 до 100000 сполучень з іншими. Сумарна пропускна здатність нейронних мереж людського головного мозку складає 10^{14} – 10^{16} біт/с, що набагато більше, ніж у сучасних комп'ютерах. Вважається, що один біт інформації проходить через 100 – 1000 сенсорних каналів. Переважна частина цих шляхів може зникнути, перш ніж суттєво зменшиться кількість інформації, що приймається. Разом з тим, сенсорний рецептор може приймати лише до 10 біт/с. При цьому до свідомості людини попадає до 100 біт/с, а до пам'яті 1 біт/с. Центральна нервова система реалізує три можливі режими:

- збудження прийняте і відіслане;
- збудження прийняте і затримане;
- збудження прийняте і не відіслане.

Це суттєво зменшує кількість інформації, що оброблюється мозком.

При запам'ятовуванні нейронні системи грають важливу роль. З їх допомогою інфор-

мація заноситься до пам'яті і зчитується з неї. Так само утворюються зв'язки при наявності нової інформації і вже існуючих знань.

Таким чином, **важливою задачею** є формування нових підходів, методів і засобів реєстрації і оброблювання ЕКГ на базі останніх досягнень неврології та фізіології.

Розв'язання поставленої задачі. Існує декілька методик зняття ЕКГ (Кобба, Гібса тощо), які передбачають від трьох до шістнадцяти каналів реєстрації. Система розташування електродів «10/20» затверджена Міжнародною федерацією клінічної електроенцефалографії та нейрофізіології.

Принципи побудови мікроелектронних систем достатньо докладно описані в літературі [6 – 8].

Особливості реєстрації зумовлюють певні особливості побудови мікропроцесорної системи:

- реєстрація динамічних характеристик визначає необхідність побудови незалежних каналів без їх комутації, хоча це суттєво збільшує витрати на апаратне і програмне забезпечення;
- велика кількість каналів передбачає режим реєстрації в режимі переривань (програмно-апаратно) [9].

Структура комп'ютерної системи для реєстрації ЕКГ наведена на рис. 1, а процедура – на рис. 2.

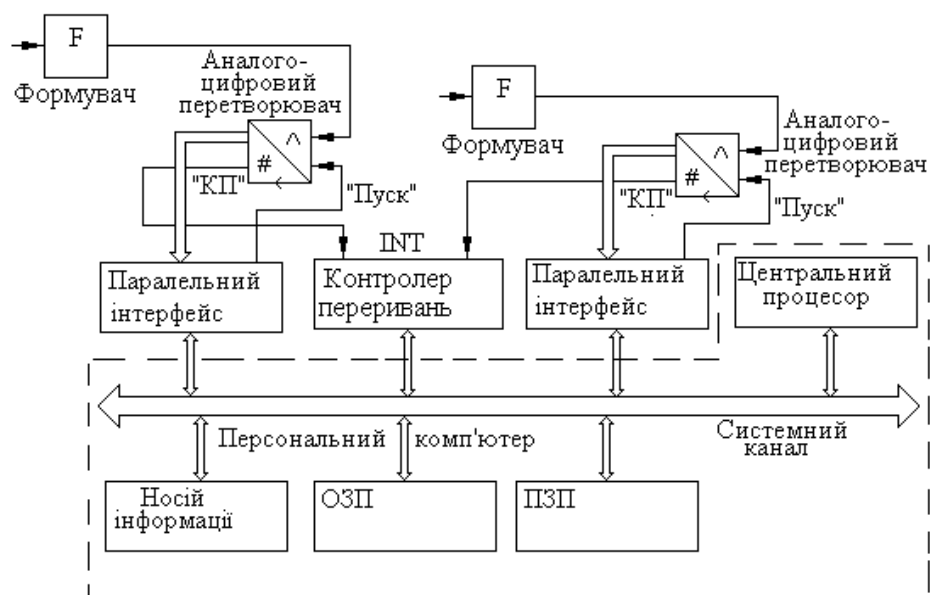


Рис. 1. Структура засобу реєстрації ЕКГ з використанням режиму переривань

Режим переривань (програмно-апаратний) пов'язаний з тим, що сам обмін інформацією здійснюється в програмному режимі, а сигнали управління цим процесом формуються апаратно.

При виникненні сигналу INT, що формується зовнішнім пристроєм, центральний

процесор закінчує виконання основної програми, всі необхідні дані фіксує в допоміжному пам'ятовувальному пристрої (стеку), і у відповідності із підпрограмою оброблювання переривання здійснює обмін даними в програмному режимі.

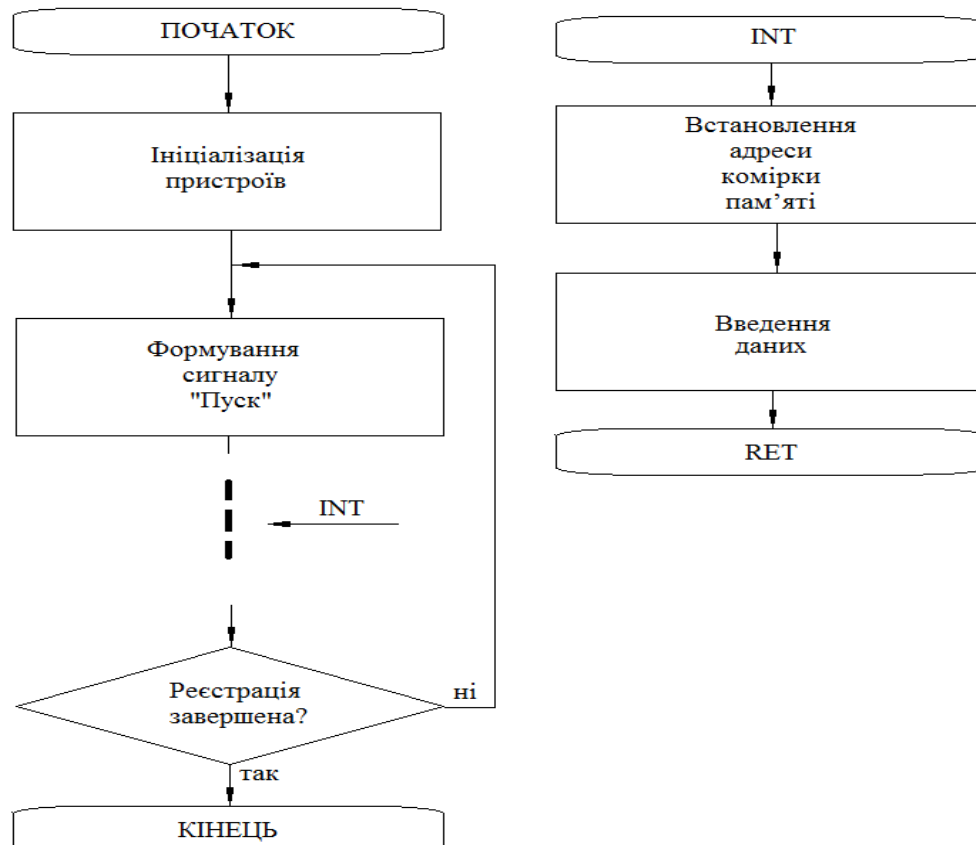


Рис. 2. Процедура реєстрації ЕКГ з використанням режиму переривань

Після завершення підпрограми оброблення переривання, центральний процесор зчитує зі стека раніше записані дані і повертається до виконання основної програми.

Сигнали переривання INT формуються по кожному каналу окремо і визначають область пам'яті, куди записуються дані певної ЕКГ.

Початок перетворення задається сигналом «Пуск», а завершення фіксується за сигналом «Кінець перетворення», який формує сам АЦП. Під час перетворення кодова комбінація на виході постійно змінюється і лише зчитування даних за сигналом «КП» гарантує правильність зчитаного результату. Результатом перетворення є кодова комбінація N_x , яка визначається вхідною вимірюваною напругою U_x відповідно до формули

$$N_x = \frac{U_x}{U_{on}} N_{max}, \quad (1)$$

де U_{on} – значення опорної напруги АЦП;

$N_{max} = (2^n - 1)$ – максимальне значення вихідного коду;

n – кількість розрядів АЦП.

Тоді вимірювана напруга

$$U_x = U_{on} \frac{N_x}{N_{max}}. \quad (2)$$

Або з урахуванням коефіцієнта перетворення

формула $k_{ex} = \frac{U_x}{U_{ex}}$

$$U_{ex} = \frac{U_x}{k_{ex}} = \frac{U_{on} \cdot N_x}{k_{ex} \cdot N_{max}}. \quad (3)$$

Для амплітудного вимірювального каналу похибка квантування визначається як одиниця молодшого розряду (кроку квантування), виходячи з чого

$$\gamma_{ADC} = \frac{1}{N_{max}} \cdot 100\% = \frac{1}{2^n - 1} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Вираз (4) дозволяє, завдавшись похибкою, визначити необхідну кількість розрядів АЦП

$$n = \log_2 \left(\frac{100}{\gamma_{ADC}} + 1 \right). \quad (5)$$

З урахуванням того, що кількість розрядів

АЦП має бути натуральним числом для спрощення розрахунків одиницю у формулі (5) можна опустити, округляючи результат зі збільшенням до цілого числа.

Швидкодія АЦП вибирається за похибкою дискретизації $T_d = 1/f_d$ відповідно до формул:

$$f_d = \sqrt{\frac{X_{max}''}{8\gamma_{an}}}. \quad (6)$$

де X_{max}'' – максимальне значення другої похідної вхідного сигналу.

$$f_d = \sqrt[3]{\frac{X_{max}'''}{15,53\gamma_{an}}}, \quad (7)$$

де X_{max}''' – максимальне значення третьої похідної вхідного сигналу.

При цьому потрібно враховувати, що період дискретизації містить в собі не лише тривалість циклу перетворення АЦП, але й тривалість всіх операцій, пов'язаних із реєстрацією даних. В більшості випадків процеси в медицині та біології є повільними і швидкодія сучасних АЦП є цілком достатньою.

Процедура реєстрації аналогових сигналів пов'язана із накладанням високочастотних завад.

Для їх усунення потрібно додати процедуру цифрової фільтрації [9]. В класичному випадку апроксимація всіх неперервних та дискретних сигналів здійснюється в базисі синусоїдних функцій. Для пропонованого випадку використовуються поліноміальні ортогональні функції Чебишева, тому для певного класу функцій збіжність ряду буде значно вищою, ніж в першому випадку [10]. Функції Чебишева $T_n(x)$ визначаються диференціальним рівнянням

$$T_n(x) = \frac{2^n \cdot n!}{(2n)!} \sqrt{x^2 - 1} \frac{d^n}{dx^n} \left((x^2 - 1)^{n-\frac{1}{2}} \right) \quad (8)$$

На практиці користуються більш простими формулами для отримання ортогональних поліномів Чебишева:

$$T_n(x) = \cos(n \cdot \arccos x); \quad (9)$$

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x), \quad (10)$$

що являють собою поліноми степені n .

Розв'язок рівнянь (8) – (10) дозволяє отримати ряд ортогональних функцій, обмежених інтервалом $x \in [-1, 1]$ і описуваних виразами (11).

$$\begin{aligned} T_0(x) &= 1, \\ T_1(x) &= x, \\ T_2(x) &= 3x^2 - 1, \\ T_3(x) &= 4x^3 - 3x, \\ T_4(x) &= 8x^4 - 8x^2 + 1, \\ T_5(x) &= 16x^5 - 20x^3 + 5x, \\ T_6(x) &= 32x^6 - 48x^4 + 18x^2 - 1, \\ T_7(x) &= 64x^7 - 112x^5 + 56x^3 - 7x, \\ &\vdots \end{aligned} \quad (11)$$

Краща збіжність ряду означає, що для апроксимації вихідної послідовності необхідно значно менше членів рівняння і кінцевий обсяг даних буде меншим без втрат інформації. При цьому алгоритм перетворення даних спрощується, за рахунок чого скорочується час оброблювання даних і підвищується ефективність використання процесорних засобів. На практиці обмежуються кількістю членів, які визначають 95% енергії зареєстрованого сигналу ЕЕГ.

На рис. 3 подані результати розрахунків імовірності помилок в залежності від співвідношення сигнал/шум без фільтрації (p_k), при класичного алгоритму фільтрації (pm_k) та використанні поліномів Чебишева (pmw_k).

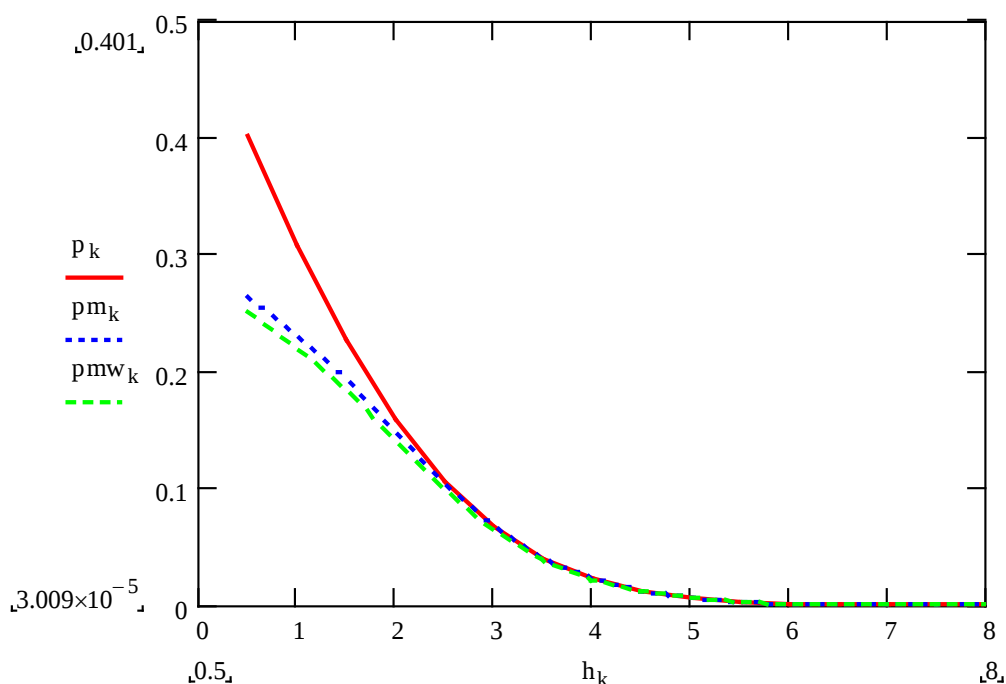


Рис. 3. Імовірності помилок в залежності від співвідношення сигнал/шум

Обсяг вибірки можна визначити цей показник за частотою виникнення події k/n , де k – кількість дослідів з n проведених, в яких

ця подія відбувалась. Цей параметр можна використати як оцінку шуканої імовірності p . Тобто

$$p\left(\frac{k}{n} < x\right) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{k/n}^2}} \exp\left(-\frac{\left(\frac{k}{n} - m_{k/n}\right)^2}{2\sigma_{k/n}^2}\right) d\frac{k}{n}. \quad (12)$$

При достатньо великих значеннях n

$$p\left(\frac{\frac{k}{n} - m_{k/n}}{\sigma_{k/n}} < \frac{\Delta}{\sigma_{k/n}}\right) = F\left(\frac{n \cdot \Delta}{\sigma_{k/n}}\right). \quad (13)$$

Задаючись імовірністю p , можна отримати оцінку k/n

$$p\left(\frac{k}{n} - p < \Delta\right) = t_{\Delta} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}, \quad (14)$$

де $t_{\Delta} = \frac{\Delta}{\sigma_{k/n}}$.

З імовірністю більше 0,997

$$\Delta = 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}. \quad (15)$$

Звідки

$$n = 9 \frac{p(1-p)}{\Delta^2} = \frac{0,027}{\Delta^2}. \quad (16)$$

Висновки. В результаті проведених досліджень розроблено апаратне і програмне забезпечення комп'ютерної системи реєстрації ЕЕГ. Показана необхідність цифрової фільтрації і розроблений її алгоритм. Ефективність процедури ілюструється графіками.

Список літератури

1. Абакумов В. Г., Готра З. Ю., Злепко С. М. та ін. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів. Вінниця: ВНТУ, 2011. 352 с.
2. Зенков Л. Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). М.: МЕДпресс-информ, 2004. 368 с.
3. Русинов В. С. Клиническая электроэнцефалография. М.: Медицина, 1987. 527 с.

4. Тодоров І. В. Електроенцефалографія в психіатрії. Івано-Франківськ: Місто НВ, 2004. 76 с.
5. Жадин М. Н. Биофизические механизмы формирования электроэнцефалограммы. М.: Наука, 1984. 372 с.
6. Дорош Н. В., Кучмій Г. Л. Розробка алгоритмічної бази для мікроелектронних систем аналізу біомедичних сигналів. *Вісник ДУ «Львівська політехніка»*. 2000. № 401. С. 65 – 69.
7. Дорош Н. В., Кучмій Г. Л., Калюжна К. Р. Моделювання алгоритмів обробки електроенцефалограм для мікроелектронних систем контролю електричної активності мозку. *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2005. № 542. С. 80 – 84.
8. Акулов Л. Г., Муха Ю. П. Адаптивні методи в електроенцефалографічних вимірюваннях. *Біомедичні технології та радіоелектроніка*. 2007. № 1. С. 56 – 60.
9. Кулик А. Я., Кривогубченко С. Г., Компанець М. М., Кривогубченко Д. С. Проектування мікропроцесорних засобів. Вінниця: ВДТУ, 2001. 135 с.
10. Патент 102077 України, МПК А61В 5/0476. Спосіб реєстрації електроенцефалограми / Кулик А. Я. (Україна), Власенко О. В. (Україна), Ревіна Т. Г. (Україна) та ін.; ВНМУ. – № u 201504441; заявл. 06.05.2015, опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19. – 6 с.
11. Овчинников П. Ф., Лисицын Б. М., Михайленко В. М. Высшая математика. К: Наука, 1989. С. 612.

References

1. Abakumov, V. G., Gotra, Z. Y., Zlepko, S. M. and other. (2011) Registration, processing and control of biomedical signals. Vinnytsya: VSTU, 352 p.
2. Zenkov, L. R. (2004) Clinical electroencephalography (with elements of epileptology) M.: MEDpress-inform, 368 p.
3. Rusinov, V. S. (1987) Clinical electroencephalography. M.: Medicina, 527 p.

4. Todorov, I. V. (2004) Electroencephalography in psychiatry. Ivano-Frankivsk: Misto NV, 76 p.
5. Dzadin, M. N. (1984) Biophysical mechanisms of electroencephalogram formation. M.: Nauka, 372 p.
6. Dorosh, N. V., Kuchmiy, G. L. (2000) Development of algorithmic base for microelectronic systems for the analysis of biomedical signals. Bulletin of Lviv Polytechnic State University, v. 401, pp. 65 – 69.
7. Dorosh, N. V., Kuchmiy, G. L., Kalyudzna, K. P. (2005) Simulation of electroencephalogram processing algorithms for microelectronic systems for monitoring electrical activity of the brain. Bulletin of Lviv Polytechnic National University, v. 542, pp. 80 – 84.
8. Akulov, L. G., Muha, Y. P. (2007) Adaptive Methods in Electroencephalography Measurements. Biomedical technologies and radio electronics, v. 1, pp. 56 – 60.
9. Kulyk, A. Y., Krivogubchenko, S. G., Kompanets M. M., Krivogubchenko, D. S. (2001) Designing microprocessor tools. Vinnytsya: VSTU, 135 p.
10. UA Patent 102077. Kulyk A. Y., Vlasenko O. V., Revina T. G. and other. (2015) Method of recording an electroencephalogram.
11. Ovchinnikov, P. F., Lisitsin, B. M., Mihaylenko, V. M. (1989) Higher Mathematics. K: Nauka, p. 61.

A. Y. Kulyk, D.Sc., professor,
National Pirogov Memorial Medical University,
Pirogov Str, 56, Vinnytsya, 21018, Ukraine,
kulyk@vnmue.edu.ua

T. G. Revina,
National Pirogov Memorial Medical University,
Pirogov Str, 56, Vinnytsya, 21018, Ukraine,
tatiana@vnmue.edu.ua

M. V. Bodnar,
National Pirogov Memorial Medical University,
Pirogov Str, 56, Vinnytsya, 21018, Ukraine,
shargorod0523@gmail.com

THE EEG SIGNAL REGISTRATION AND PROCESSING WITH THE USE OF CHEBYSHEV POLYNOMS

In physiological studies, for the evaluation of brain activity, an important condition is the removal of the electroencephalogram. The article deals with the construction of a computer system for registration of EEG using the interrupt mode at the level of structure and algorithmic support. Depending on the recording technique, the system contains from three to sixteen amplitude measuring channels. An additional procedure for digital filtration using the Chebyshev polynomials is proposed for filtering of high-frequency interferences. The calculations made showed its effectiveness. The method of estimation of the minimum length of realization is offered.

Keywords: computer system, electroencephalogram, digital filtering.

Наукове видання

ВІСНИК
Черкаського державного
технологічного університету

СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ
2 • 2018

VISNYK
Cherkaskogo derzhavnogo
tehnologichnogo universitetu

SERIA: TEHNICHNI NAUKY
2 • 2018

Статті друкуються в авторській редакції.

Відповідальність за точність і коректність посилань та достовірність наукових результатів у публікаціях несуть автори. Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів. Матеріали друкуються з максимальним збереженням авторської стилістики та орфографії.

*Технічний редактор Давиденко К. В.
Комп'ютерна обробка Вознюк Т. І.*

Видавець – Черкаський державний технологічний університет
бульвар Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 896 від 16.04.2002 р.

Виготівник – ФОП ГОРДІЄНКО Є.І.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції Серія ДК № 4518 від 04.04.2013 р.

Україна, 18000, м. Черкаси тел./факс: (0472) 56-56-12, (067) 444-28-94

e-mail: book.druk@gmail.com

Формат 60x84 1/8. Гарнітура Times New Roman.

Умовн. друк. арк. 16,28. Обл.-вид. арк. 16,8. Наклад 100 прим. Вид. № 18-100.