

ФОРМАЛЬНИЙ ОПИС ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ПАСПОРТА ВИРОБУ

Ігор Шевченко

професор кафедри автоматизації та інформаційних систем

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Україна, 39600, ius.shevchenko@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3009-8611

Діана Похла

аспірант кафедри автоматизації та інформаційних систем

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Україна, 39600, endi.kolt@gmail.com

Вікторія Бельська

старший викладач кафедри автоматизації та інформаційних систем

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Україна, 39600, victory27b@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5805-5838

Розглянуто питання застосування та побудови цифрового паспорта виробу. Показано, що часта зміна об'єктів виробництва, поява нових конструктивних рішень і технологічних процесів, потреба в супроводженні виробу у процесі його життєвого циклу потребують великої уваги до методів моніторингу та цифрового документування технологічних процесів.

Це стосується також аспекту контролю якості виробів для забезпечення конкурентоспроможності продукції. Усі ці питання вирішуються за допомогою концепції цифрового паспорта, застосування якої змушує ретельно аналізувати та фіксувати етапи технологічного процесу та життєвого циклу виробу, окремих його елементів.

Метою роботи є створення комплексу моделей, який є підґрунтям для розроблення алгоритмів та інформаційної технології автоматизованого формування цифрового паспорта виробу.

Уперше запропоновано комплекс моделей, який усебічно відображає всі аспекти процесу створення цифрового паспорта виробу та вирізняється наявністю моделі технологічного процесу, моделі технологічної операції, моделі технологічного маршруту, моделі виробу, моделі цифрового паспорта та моделі перетворення даних, що дозволяє розробити алгоритми й інформаційну технологію формування цифрового паспорта виробу для будь-якого виробництва.

Показано, що запропоновані моделі можна реалізувати в алгоритмах і програмному забезпеченні, що слугує прототипом для інформаційної підсистеми, яка здатна не тільки формувати цифровий паспорт виробу, а і підтримувати на відповідному рівні контроль якості на всіх етапах технологічного процесу.

Ключові слова: цифровий паспорт виробу, модель технологічного процесу, модель виробу, модель паспорта, модель перетворення.

Актуальність роботи. Для розроблення й оптимізації виробничих систем, а також для вибору оптимальних відповідностей продукту необхідні методи аналізу якості продукту [1]. Більшість відомих методів спрямовані на аналіз продукту або однієї групи продуктів на фізичному рівні [2].

Однак різні сімейства продуктів можуть значно відрізнятися за кількістю та характером компонентів. Цей факт перешкоджає ефективному порівнянню та вибору відповідних комбінацій сімейства продуктів для виробничої системи.

З іншого боку, прагнення до підвищення якості неминуче веде до автоматизації та цифровізації як мінімум операцій контролю. Якщо ж намагатися підвищити якість продукції та рівень контролю з мінімальною автоматизацією, то витрати на контрольні операції різко збільшують трудові та часові витрати на основне виробництво.

Отже, рушійними силами процесу, що штовхає до застосування електронних паспортів виробу (далі – DPP), стають два чинники: цифровізація; вимоги до підвищення якості продукції.

З іншого боку, DPP – це концепція інструменту, яка просувається політичними колами

для сприяння так званій циркулярній економіці (далі – CE) [3]. У роботах [4; 5] висвітлюються проблеми, пов'язані з тим, що досі немає узгодженого формату стандартизованих і оцифрованих даних про продукти, багато платформ CE мають різні ексклюзивні формати.

У роботі [6] представлено концепцію та впровадження цифрового паспорта життєвого циклу продукту (далі – DLCP) на основі оболонки адміністрування активів разом із керуванням ним за допомогою хмарної програми. Показано, що DLCP дозволяє ухвалювати детальні рішення щодо сортування в разі використання сортування електронних відходів.

Отже, часта зміна об'єктів виробництва, поява нових конструктивних рішень і технологічних процесів, потреба в супроводженні виробу у процесі його життєвого циклу потребують великої уваги до методів моніторингу та документування технологічних процесів. Це стосується також аспекту контролю якості виробів та окремих деталей і вузлів для забезпечення конкурентоспроможності продукції. Усі ці питання вирішуються за допомогою концепції DPP, яка змушує ретельно аналізувати та фіксувати окремі етапи технологічного процесу та життєвого циклу виробу та його елементів.

Метою роботи є створення комплексу моделей, якій є підґрунтям для розроблення алгоритмів та інформаційної технології автоматизованого формування цифрового паспорта виробу.

Матеріал і результати досліджень. Щодо інформаційної технології створення та ведення DPP, існує небагато робіт, які висвітлюють ці проблеми. Помітним вкладом є роботи [7; 8]. У праці [7] розроблено два види вимог до змісту DPP і до дизайнерських рішень щодо створення DPP. Перший із них ураховує особливості діяльності окремого підприємства, а другий – специфіку проєктного завдання. Це дозволило розробити послідовність дій, що описують створення та використання DPP.

У роботі [8] розроблено проєктні процедури для аналізу компонентів і параметрів DPP, результатом яких є діапазон значень, що визначають описи компонентів цифрового паспорта на підприємстві. Це дозволило розробити критерій подібності проєктного рішення для використання патернів DPP. Але в цих роботах не приділено увагу моделям технологічного процесу, технологічної операції та виробу як такого. Отже, це не дає можливості зробити формальний опис процесу перетворення даних про технологічний про-

цес і виріб на структуру даних електронного паспорта. Досвід формального опису виробничих процесів і процесів контролю якості наведено в роботах [9; 10], цим можна скористатися для вирішення визначеної проблеми. Отже, метою нашої роботи є створення такого формального опису виробничого процесу та виробу, їх відображення на етапах формування DPP.

У разі традиційного способу обліку конструкторських і технологічних параметрів виробу необхідно для кожного екземпляра виробу фіксувати інформацію про параметри деталей, складальних одиниць і виробу загалом. Для цього має бути організоване введення даних про етапи та параметри технологічних процесів (далі – ТП), дати й учасників виконання критичних операцій.

До завершення виготовлення виробу результати представлені декількома сотнями сторінок різнорідних паперових документів, а також даними в електронних файлах, що ускладнює моніторинг життєвого циклу виробу та створює проблеми в дослідженні відмов і встановленні тенденцій зміни параметрів у серійному та дрібносерійному виробництві.

З іншого боку, потрібно забезпечувати електронним паспортом кожен виріб для запобігання зловживанням із боку клієнтів.

З метою усунення цих проблем має бути організована робота зі створення електронного паспорта виробу, призначеного для збирання, зберігання й аналізу даних на всіх етапах виробництва – починаючи з виготовлення деталей і складальних одиниць до регулювання у стендовому залі підприємства.

Упровадження DPP має забезпечувати виконання таких функцій:

- можливість автоматичного та ручного введення значень технологічних і конструкторських параметрів виробів і їхніх складових частин на етапах виготовлення та регулювання (функція ручного введення надається обмеженій кількості працівників підприємства);

- автоматизоване введення даних результатів випробувань, що виконуються на стендовому полігоні підприємства;

- формування звітних таблиць із сукупності параметрів для будь-яких послідовностей заводських номерів виробів (ця функція надається обмеженій кількості працівників підприємства);

- введення даних про карти дозволів на відступи від вимог конструкторської документації, а також про рішення щодо технологічних про-

цесів виготовлення виробу та його складових частин;

– реалізація механізму аналізу зібраної інформації з можливістю імпорту для додаткової обробки на стандартних офісних програмних продуктах;

– зберігання ідентифікаційної інформації з багатьох сотень виробів і їхніх складових частин.

Згідно з вищевикладеним ЕПВ використовується для забезпечення працівників підприємства даними, що відображають зв'язок між характеристиками виробів і виробничими процесами їх виготовлення. У конструкторській документації визначено структуру виробу, деталі та складальні одиниці (далі – СО) якого мають найбільший вплив на якість готового виробу. З ними узгоджуються переліки параметрів і операцій технологічних процесів, що відображають основні результати етапів виготовлення, регулювання і різних видів випробувань.

На першому етапі в електронний паспорт вводять результати виконання технологічних операцій (далі – ТО), контрольних (далі – КО) та приймальних випробувань (далі – ПВ). Після цього готовий виріб передається на стендовий полігон підприємства, де виконується перевірка його роботи. Якщо в разі введення результатів ТО, КО і ПВ значення параметрів реєструються в DPP частково вручну, то щодо випробувань реєстрація виконується автоматично; результати зберігаються у файлах, після чого переносяться в DPP.

Отже, на першому етапі задаються технологічні операції та конструкторські технологічні параметри, зокрема й додаткові аналізовані дані, значення яких фіксуються в DPP. Номери актів і відомостей реєструються тоді, якщо після введення значень параметрів ухвалено рішення щодо необхідності ремонту (перебирання) виробу за результатами виконання попередніх технологічних операцій. У свою чергу, реєстрація номерів карток дозволів виконується за ухвалення рішень про продовження складальних операцій у разі фіксування незначних і допустимих відхилень значень параметрів від вимог, що диктуються конструкторськими чи технологічними документами.

Загальна структура даних про вироби являє собою граф у вигляді дерева. Кожній складовій частині виробу відповідають технологічні маршрути зі зазначенням виробничих підрозділів, у яких вони виконуються, а також переліки контрольованих під час цих операцій конструкторських та/або технологічних параметрів.

Отже, створимо моделі технологічного процесу та технологічної операції з урахуванням мети – отримання модельного інструментарію для відображення інформації у DPP. Індивідуальними атрибутами кожного ТП є: клас ТП – C^{TP} ; установлений набір технологічних операцій – SO_{TP} ; граф ТП – G_{TP} ; множина параметрів, що регламентовано, – RP_{TP} ; модель якості Q_{TP} , яка містить вимоги до якості, кількості та строків видачі продукту; nt_{TP} – норми часу виконання операцій ТП. Отже, теоретико-множинну модель ТП опишемо виразом:

$$TP = \langle C^{TP}, SO_{TP}, G_{TP}, RP_{TP}, Q_{TP}, nt_{TP} \rangle. \quad (1)$$

Сформуємо також модель ТО:

$$TO = \langle C_{TO}, CdTO, R_{TO}, MO_{TO}, S_{MO}, NET_{TO}, V_{TO}, Q_{TO} \rangle, \quad (2)$$

де $C_{TO} \in CO_{TO}$ – клас ТО із множини класів CO_{TO} ; $CdTO$ – код ТО, що включає приналежність до певного класу ТП і номер етапу ТП; R_{TO} – набір ресурсів, що необхідні для виконання операції класу C_{TO} ; MO_{TO} – підмножина мікрооперацій, необхідних для виконання операції класу C_{TO} ; S_{MO} – регламентована послідовність мікрооперацій, що становлять ТО; NET_{TO} – нормований час виконання операції класу C_{TO} ; V_{TO} – нормована вартість виконання операції класу C_{TO} .

Отже, множину ТО розбито на c незалежних підмножин-класів:

$C_{BO1}, CO_{BO2}, \dots, CO_{BOv}, CO_{BOc}$, де $C_{BOv} \in CO_{BO}$, $Ov \cap Ow = \emptyset$, $v, w = 1, 2, \dots, c$, $v \neq w$. У кожному класі згруповані функціонально однорідні ТО, як-от «нагрівання», «контроль діаметра» тощо.

Далі опишемо простір ознак ТО вектором $F_{TO} = \{f_{BOl}\}$, $l = \overline{1, L}$. Алфавіт ознак ТО, у якому можна визначити клас ТО, містить: приналежність до якогось класу ТП; коротку назву ТО; характер ТО – механічна обробка, термічна обробка, зборка, контроль тощо; потребу в контролі ресурсів на вході ТО; потребу в контролі на виході ТО; потребу в контролі у процесі виконання ТО.

Далі створюємо модель, що відображає маршрути виконання ТП у вигляді:

$$ETR = \langle U, S(ST, SE, PC), ER, R_{ET}, R_U \rangle, \quad (3)$$

де U – множина робочих центрів або технологічних ланок, на яких здійснюються етапи ТП; S – множина етапів ТП, кожен із яких має такі параметри: ST – дата і час виконання, SE – виконавець, якій нині виконує операцію; PC – множина контрольованих параметрів, серед яких назва, межі значень, конкретне отримане зна-

чення; ER – множина ролей співробітників, що виконують множину то даного ТП; $R_{ET} = ER \times S$ – відношення, яке зв'язує множину ролей співробітників ER і множину етапів; $R_{U \subseteq X \times S}$ – відображення множини робочих центрів на множину етапів ТП. Відношення R_{ET} під час реалізації має бути перетворено на таблицю ухвалення рішень щодо підключення того чи того співробітника на певне завдання для будь якої ТО. Кожен етап маршруту виробу або збірної одиниці розглядається експертами – конструкторами та технологами – з метою виділити параметри, які необхідно включити в паспорт.

Сформуємо модель виробу. Запишемо теоретико-множинний опис виробу у вигляді:

$$PM = \langle CP, PST(P), PT, TR, \rangle, \quad (4)$$

де CP – клас виробу; PST – дерево складу виробу із множиною параметрів P щодо виробів власного виробництва та покупних виробів; PT – дерево параметрів виробу; TR – технологічний маршрут виробу.

Тепер сформуємо модель DPP, яка виглядає так:

$$MDP = \langle PN, L_{ETR}, L_{PM}, RI, R2, BD \rangle, \quad (5)$$

де PN – ім'я DPP; L_{ETR} – посилення на інформаційну модель маршруту; L_{PM} – посилення на інформаційну модель виробу; $RI = PST \times PT$ – відображення дерева складу виробу на дерево параметрів виробу; $R2 = PT \times TR$ – відображення дерева параметрів виробу на етапи технологічного маршруту; BD – бізнес-дані про виріб і виробника.

Будемо вважати, що на кожному q -му етапі технологічного маршруту сукупність даних являє собою локальну онтологію O_q , яка містить задану кількість аспектів A . Тоді можемо записати:

$$O_q = \bigcup_{z=1}^{Z_q} A_{qz}, \quad q = \overline{1..Q}, \quad z = \overline{1..Z_q}, \quad (5)$$

де A_{qz} – z -й аспект онтології рівня q . Водночас $A_{q1} = A_{q-1} \cap C_1$; $A_{q2} = A_{q-1} \cap C_2$, де C_1 і C_2 – семантичні обмеження аспектів з урахуванням думок експертів.

Кожен етап процесу формування DPP можна відобразити як один зі станів Ω_q , $q = \overline{1..Q}$, у кожному з яких частина даних з опису маршруту та виробу перетворюється на дані DPP:

$$\Omega_q = DS_q \times \bigcup_{q=1}^Y \omega_q(O_q), \quad (6)$$

де DS_i – сукупність даних чергового етапу технологічного маршруту; ω_q – оператор модельної інтерпретації даних онтології рівня q :

$$\omega_q: D_q(O_q \times M_q) \rightarrow M_q, \quad (7)$$

де D_q – оператор декомпозиції рівня q на аспекти; M_q – множина моделей рівня q , кожна з яких відображає якийсь аспект відношень між сутностями онтології рівня q .

Отже, розроблено комплекс моделей – формальний опис процесу перетворення даних про технологічний процес і виріб на структуру даних DPP. Моделі дозволяють алгоритмізувати процес формування бази даних DPP і самого DPP.

Описані вище моделі було перетворено на алгоритми, які реалізовані у вигляді прототипу програмного продукту. Цей прототип дозволяє здійснити перетворення табличних даних про технологічний процес виробництва напівпровідникових матеріалів у табличні дані, які становлять основу DPP пластин арсеніду галію. Передбачалося, що існують визначені ролі (типи співробітників), які мають доступ до DPP: адміністратор, оператор і користувач DPP.

Адміністратор виконує налаштування програмного забезпечення і, як наслідок, має обмежені права в системі введення й аналізу даних DPP. Оператор вводить у DPP значення параметрів, що фіксуються на технологічних операціях, дані про співробітників виробництва та відділу технічного контролю, а також, за необхідності, номери карток дозволів, дефектних відомостей, актів фіксації браку й актів досліджень відмов. Довелося визначити кілька типів операторів із розмежованими зонами відповідальності та правами доступу, а саме:

1. Уведення технологічного маршруту та його параметрів.
2. Уведення даних із виробу.
3. Уведення даних за матеріалами.
4. Уведення даних щодо покупних матеріалів.

Користувачі DPP нічого в нього не вводять, але мають доступ до перегляду й аналізу будь-якої інформації, можуть імпортувати частину даних, представлену засобами програмного забезпечення у вигляді звітних таблиць. Звітні таблиці потрібні для аналізу технічних і технологічних параметрів, а також результатів контролю. Кожна з таблиць розроблена таким чином, щоб користувач DPP мав можливість засобами програмного забезпечення здійснювати вибірку даних за будь-яким набором параметрів, як одиничного заводського номера виробу, так і діапазону.

Тестування програми показало, що вона може слугувати прототипом інформаційної підсистеми, яка, з одного боку, адекватно документує етапи технологічного процесу та відповідні роз-

ділі DPP, а з іншого – підтримує майже тотальний контроль усіх етапів технологічного процесу, чим забезпечує високу якість кінцевого продукту. Недоліком є необхідність проведення експертних групових оцінок складу розділів DPP для кожного етапу технологічного процесу. Але, оскільки ця процедура не має виконуватися часто, цей недолік не є занадто важливим.

Висновки. Уперше запропоновано комплекс моделей, який усебічно відображає всі аспекти процесу створення цифрового паспорту виробу та вирізняється наявністю моделі технологічного процесу, моделі технологічної операції, моделі технологічного маршруту, моделі виробу, моделі цифрового паспорту та моделі перетворення даних, що дозволяє розробити алгоритми й інформаційну технологію формування цифрового паспорту виробу для будь-якого виробництва.

Показано, що запропоновані моделі можна реалізувати в алгоритмах і програмному забезпеченні, що слугує прототипом для інформаційної підсистеми, яка здатна не тільки формувати цифровий паспорт виробу, а і підтримувати на відповідному рівні контроль якості на всіх етапах технологічного процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Управление качеством продукции на современных промышленных предприятиях / С.А. Федосеев и др. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2011. 229 с.
2. Кузнецов Л.А. Управление качеством в сложных технологических процессах. *Проблемы управления*. 2007. № 3. С. 47–53.
3. Towards a Digital Product Passport Fit for Contributing to a Circular Economy / T. Adisorn et al. *Energies*. 2021. № 14 (8). DOI: 10.3390/en14082289.
4. The Product Circularity Data Sheet – A Standardized Digital Fingerprint for Circular Economy Data about Products / Douglas Mulhall et al. *Energies*. 2022. № 15. P. 3397. DOI: doi.org/10.3390/en15093397.
5. Digital Product Passport: the ticket to achieving a climate neutral and circular European economy? / Thomas Götz et al. Wuppertal Institute ; CISL. URL: https://www.corporateleadersgroup.com/files/cisl_digital_products_passport_report_v6.pdf.
6. Towards a Digital Lifecycle Passport for the Circular Economy / Christiane Plociennika et al. *Procedia CIRP*. 2022. № 105. P. 122–127.
7. Donetskaya Ju.V., Gatchin Yu.A. Development of requirements for the content of a digital passport and design solutions. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. V. 1828. № 1. P. 012102. DOI: 10.1088/1742-6596/1828/1/012102.
8. Donetskaya Ju.V. Design procedures for the analysis of the components and parameters of a digital passport. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. V. 1828. № 1. P. 012103. DOI: 10.1088/1742-6596/1828/1/012103.
9. Shevchenko I. Information technology quality management process of growing semiconductor single crystals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis link is disabled*. 2014. № 3 (2). P. 52–56. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.25193.
10. Method of Operations Models Forming under Uncertainty / I. Lutsenko et al. *IEEE 20th International Conference on Modern Electrical and Energy System, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, 21–24 September, 2021*. P. 404–409. DOI: 10.1109/mees52427.2021.9598712.

FORMAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF FORMING AN ELECTRONIC PRODUCT PASSPORT

Igor Shevchenko

Professor of the Department of Automation and Information Systems

Kremenchuk Mykhailo Ostrogradsky National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Ukraine, 39600, ius.shevchenko@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3009-8611

Diana Pokhyla

Graduate student of the department of automation and information systems

Kremenchuk Mykhailo Ostrogradsky National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Ukraine, 39600, endi.kolt@gmail.com

Viktoriya Belska

Senior lecturer of the Department of Automation and Information Systems

Kremenchuk Mykhailo Ostrogradsky National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Ukraine, 39600, victory27b@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5805-5838

Purpose. This article discusses the use and production of a digital passport. It is shown that frequent changes in the objects of production, the appearance of new design solutions and technological processes, the need for maintenance of the product during its life cycle require great attention to the methods of monitoring and digital documentation of technological processes.

Originality. For the first time, a set of models has been proposed, which comprehensively reflects all aspects of the process of creating a digital product passport and is distinguished by the presence of a technological process model, a technological operation model, a technological route model, a product model, a digital passport model, and a data transformation model.

This makes it possible to develop algorithms and information technology for the formation of a digital product passport for any production.

Methodology. Formal models of technological process, technological operation, technological route, product and digital passport of product are provided. A formal description of the process of converting process and product data into the data structure of the digital passport is made.

Result. The testing of the program showed that it can serve as a prototype of the information subsystem, which, on the one hand, adequately documents the stages of the technological process and the corresponding sections of DRR, and on the other hand, supports almost complete control of all stages of the technological process, thereby ensuring the high quality of the final product.

Practical value. It is shown that the tested models can be implemented in algorithms and software, which serves as a prototype for an information system that can not only generate a digital passport of the product, but also maintain quality control at the appropriate level at all stages of the technological process.

Key words: digital passport of product, technological process model, product model, passport model, conversion model.

REFERENCES

1. Product quality management at modern industrial enterprises / S.A. Fedoseev, M.B. Gitman, V.Y. Stolbov, A.V. Vozhakov. Perm : Publishing house of PNRPU, 2011. 229 pp.
2. Kuznetsov L.A. Quality management in complex technological processes. *Problems of management*. 2007. № 3. P. 47–53.
3. Adisorn T., Tholen L., Götz T. Towards a Digital Product Passport Fit for Contributing to a Circular Economy. *Energies*. 2021. 14 (8). DOI: 10.3390/en14082289.
4. Mulhall Douglas, Ayed Anne-Christine, Schroeder Jeannot, Hansen Katja and Wautelet Thibaut. The Product Circularity Data Sheet – A Standardized Digital Fingerprint for Circular Economy Data about Products. *Energies*. 2022. 15. P. 3397. DOI: 10.3390/en15093397.
5. Digital Product Passport: the ticket to achieving a climate neutral and circular European economy? / Thomas Götz, Holger Berg, Maike Jansen and Thomas Adisorn (Wuppertal Institute), and David Cembrero, Sanna Markkanen and Tahmid Chowdhury (CISL). URL: https://www.corporateleadersgroup.com/files/cisl_digital_products_passport_report_v6.pdf.
6. Towards a Digital Lifecycle Passport for the Circular Economy / Christiane Plociennika, Monireh Pourjafarian, Ali Nazeri, Waldemar Windholzb, Svenja Knetschb, Julian Rickert, Andreas Citrothc, Alice do Carmo Precci Lopesd, Tabea Hagedornd, Malte Vogelgesangd, Wladislaw Benner, Andrea Gassmanne, Simon Bergweiler, Martin Ruskowski, Liselotte Schebekd, Anke Weidenkaffe. *Procedia CIRP*. 2022. 105. Pp. 122–127.
7. Donetskaya Ju.V., Gatchin Yu.A. Development of requirements for the content of a digital passport and design solutions. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. V. 1828. № 1. P. 012102. DOI: 10.1088/1742-6596/1828/1/012102.
8. Donetskaya Ju.V. Design procedures for the analysis of the components and parameters of a digital passport. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. V. 1828. № 1. P. 012103. DOI: 10.1088/1742-6596/1828/1/012103.
9. Shevchenko, I. (2014). Information technology quality management process of growing semiconductor single crystals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis link is disabled*. 3 (2). Pp. 52–56. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.25193
10. Lutsenko I., Shevchenko I., Oksanych I., Istomina N., Koval S. (2021). Method of Operations Models Forming under Uncertainty. *IEEE 20'th International Conference on Modern Electrical and Energy System, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, 21–24 September, 2021*. Pp. 404–409. DOI: 10.1109/mees52427.2021.9598712.

Стаття надійшла 01.09.2022