

УДК 519.68

doi:10.20998/2413-4295.2017.23.03

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗКЛАДУ ПРОЕКТІВ ЗВОРОТНОГО ІНЖИНІРИНГУ СТАНДАРТИЗОВАНИХ ВИРОБІВ

В. В. ІВАНОВ^{1*}, Н. В. ЧУМАК²

¹ кафедра машинознавства і деталей машин, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

² відділ аспірантури і докторантури, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

*email: vvict@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розроблено когнітивну модель управління проектом зворотного інжинірингу, що включає необхідне метрологічне обладнання, програмне забезпечення, команду проекту, а також евристичні методи управління проектом. Розв'язано питання щодо визначення стандартів, за якими виготовлено виріб або його вузли та деталі за допомогою евристичних методів, базованих на застосуванні когнітивних карт та на базі моделей розпізнавання образів. Розглянута послідовність операцій та встановлено, що використання логічного зв'язку старт-старт для груп операцій, метрологів та інженерів дозволяє суттєво скоротити загальну кількість метрологічних операцій. Також встановлено, що оптимізація бюджету повністю визначається оптимізацією потрібних чоловіко-годин метрологів та інженерів. Для розв'язання задачі оптимізації сформована цільова функція.

Ключові слова: зворотний інжиніринг; когнітивна модель управління; евристичні методи; моделі розпізнавання образів; послідовність процедур; цільова функція.

OPTIMIZATION OF CURRICULUM OF PROJECTS OF THE REVERSE ENGINEERING OF THE STANDARDIZED WARES

V. IVANOV^{1*}, N. CHUMAK²

¹ Department of Mechanical Engineering and Machine Parts, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

² Postgraduate and doctoral department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT Projects on the recreation of the construction, technical characteristics and technical documentation using available samples of products are specificity of the portfolio of orders of engineering companies. Projects of reverse engineering have products with different degree of damage as an object, therefore these projects always have signs of uniqueness. Usually there is partial or complete absence of corresponding documentation. Information about standards, unified or standard units and assemblies, as well as standard parts and component parts, are concentrated in the CAD / CAM / CAE software complexes. A cognitive model of project management of reverse engineering, was developed, including the necessary metrological equipment, software, project team, and heuristic methods of project management. With the help of heuristic methods based on the use of cognitive maps and on the basis of pattern recognition models it was solved the question by what standards the product or its components and parts were manufactured. For this purpose the model of separating surfaces in the form of a hyperplane (R-model) was used. The interaction of the project team members was investigated and it was established that in the phase of reverse engineering identification the project team consisted of two groups that conditionally could be designated as metrologists and engineers. The sequence of operations was considered and it was established that the use of a start-start logical connection for operation groups, metrologists and engineers can significantly reduce the total number of metrological operations. It is also established that the optimization of the budget is completely determined by the optimization of the required man-hours of metrologists and engineers. To solve the optimization problem, an objective function is formed.

Keywords: reverse engineering; cognitive model of project management; heuristic methods; pattern recognition models; sequence of operations; objective function.

Вступ

Специфікою портфеля замовлень інжинірингових компаній є проекти із відтворення конструкції, технічних характеристик та технічної документації за наявними зразками виробів. Відтворення конструкції і технічних характеристик є передумовою розслідування аварій та визначення фінансової відповідальності фірми постачальника обладнання і фірми, яка його експлуатує [5]. Більш детальне дослідження технічних характеристик окремих агрегатів або вузлів потрібно при

необхідності їх заміни через пошук інших виробників. Найчастіше завданням інжинірингової компанії є повне відтворення технічної документації виробу з метою його подальшого виробництва в Україні, при цьому не йдеться лише про копіювання. Розроблена конструкція може мати обмежену функціональність для здешевлення або, навпаки, мати покращені характеристики через запровадження оригінальних конструктивних рішень. Проекти зворотного інжинірингу мають у якості об'єкту виробу з різним ступенем ушкоджень, внаслідок чого завжди мають ознаки унікальності. Зазвичай спостерігається

часткова або повна відсутність відповідної документації для виробів, виготовлених іноземними фірмами. Тому, спочатку потрібно встановити, за якими стандартами виготовлено виріб.

Розв'язанню питань зворотного інжинірингу присвячена велика кількість публікацій. Детально досліджено, як на основі вимірювання шорсткості деталей визначити стандарт, за яким були призначені норми шорсткості [6]. Розв'язано задачу щодо визначення точності, з якою деталь була виготовлена. Відтворено форму деталі з такими самими показниками точності, що і оригінальна деталь, за допомогою ливарної технології, поєднаної з технологією оцифровки 3D-CAD поверхонь [9]. Інформація про стандарти, уніфіковані або стандартні агрегати і вузли, а також стандартні деталі і елементи деталей зосереджена в програмних комплексах CAD/CAM/CAE. Використання систем автоматизованого проектування для зворотного інжинірингу розглянуто в роботі [8]. При цьому розглядаються спеціальні методи для розв'язання задачі зворотного інжинірингу, а саме: еволюційні алгоритми, скелелазіння та випадковий пошук. Загалом питання метрологічного обладнання та програмного забезпечення для зворотного інжинірингу розроблені досить детально. Деякі аспекти пов'язані з організацією робіт, а саме впровадженню САПР, теж висвітлені [7]. Бракує, в першу чергу, досліджень, пов'язаних з командою проекту та інтегрованого погляду, який би враховував всі аспекти зворотного інжинірингу.

Постановка завдання

Метою дослідження є розробка когнітивних моделей та карт управління проектом зворотного інжинірингу, що включають необхідне метрологічне обладнання, програмне забезпечення, команду проекту, а також евристичні методи управління проектом. Когнітивна модель є базою для розв'язання питань про склад команди проекту, оптимізації розкладу операцій та закладає основи для оптимізації бюджету проекту.

Виклад основного матеріалу

Фаза ідентифікації складається з наступних стадій: аналіз фактичного стану і розшифрування. Під розшифруванням мається на увазі відтворення конструкції, технічних характеристик і технічної документації за наявними зразками виробів. Поряд з метрологічними дослідженнями, розшифрування параметрів виробу спирається на програмні комплекси CAD/CAM/CAE, які містять модулі з бібліотеками уніфікованих вузлів, стандартних деталей та стандартних елементів деталей. Фаза проектування складається з наступних стадій:

технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект, а також виготовлення. У фазі трансформації відбувається конкретизація мети на базі застосування евристичних методів. Залежно від складності завдання може бути одна стадія, яка побудована на використанні одного евристичного методу. Якщо послідовно використовується кілька евристичних методів, то кількість стадій збігається з кількістю застосовуваних методів [4].

В першу чергу потрібно виявити уніфіковані вузли в наявному виробі (рис. 1). На підставі інформації про технічні параметри вузлів отримаємо інформацію про межі швидкості обертання, діючого моменту, температур тощо. Також отримаємо інформацію про приєднувальні розміри, які є також розмірами корпусу виробу.

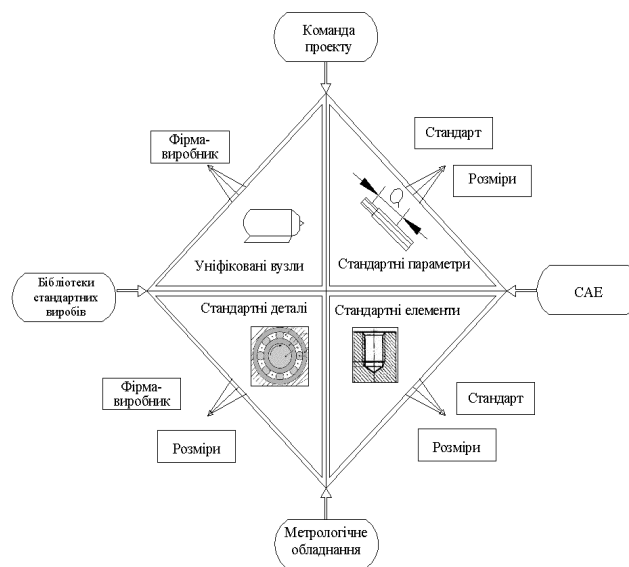


Рис. 1 – Когнітивна модель фази ідентифікації зворотного інжинірингу стандартизованих виробів

Далі вимірюємо розміри, які можуть бути стандартними, а саме: міжосьові відстані, діаметри вхідних та вихідних валів, приєднувальні розміри корпусу виробу і т.п. Співставляємо знайдені з невеликою точністю розміри з розмірами, які є стандартними за ISO, ANSI, DIN, ГОСТ тощо. Знаходимо співпадіння та приймаємо гіпотезу, що наявний виріб виготовлений за певним стандартом (див. рис. 1). Виходячи з цієї гіпотези, проводимо попередні розрахунки, використовуючи модулі CAE. Знаходимо моменти, сили, швидкості поступального руху та обертання, температуру, рекомендовані типи підшипників, ущільнень та мастил.

Перевіряємо гіпотезу, досліджуючи стандартні вузли: підшипники, муфти, зубчасті передачі, пас – пасової передачі, ланцюг – ланцюгової передачі і т.п. Остаточо встановлюємо стандарт (або стандарти), за яким виготовлено виріб. Проводимо остаточні

розрахунки, на підставі стандартних параметрів будують розрахункові схеми та, використовуючи стандартизовані методи розрахунку, остаточно знаходимо сили та моменти, що діють на елементи конструкції. Встановлюємо властивості матеріалів конструкції. При необхідності проводимо випробовування матеріалів і знаходимо твердість контактуючих поверхонь, міцність на розрив тощо. Знаходимо розміри деталей з умов міцності, жорсткості, довготривалості. Співставляємо з наявними розмірами і робимо висновок, щодо якості конструкції.

Для можливості відтворення наявного виробу, з урахуванням наявних технологічних можливостей та висновків щодо якості конструкції, необхідно знайти інші розміри. Для зменшення трудомісткості знаходимо елементи деталей, які є стандартними: різьблення, шпонкові пази, шліцові поверхні (див. рис. 1). Разом з інформацією, яка вже накопичена щодо приєднувальних та посадочних розмірів, отримуємо основні метрологічні відомості при наявній виріб. При необхідності проводимо додаткові вимірювання. Але зовсім не всі розміри потрібні для відтворення наявного виробу. Тому що мова не йде про копіювання, а про заміну іншим виробом з аналогічною функціональністю, або з погіршеною чи покращеною функціональністю. В залежності від рівня пошкоджень елементів наявного виробу, наявних технологічних можливостей та економічних міркувань.

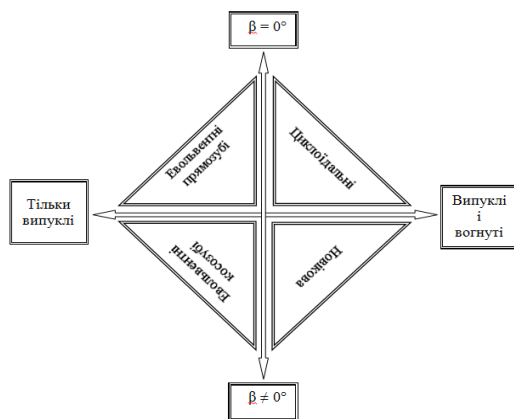


Рис. 2 – Приклад когнітивної карти зворотного інжинірингу

Для розв’язання задачі відповідності вузла певним стандартам не завжди потрібні вимірювання та розрахунки. Іноді до певного висновку дозволяє прийти евристичний аналіз ознак вузла. Для визначення за яким стандартом виготовлена передача може бути достатньо лише двох ознак. На рис. 2 наведено приклад когнітивної карти, яка в залежності від наявності кута нахилу та вогнутої ділянки

профілю зубу дає можливість зробити висновок, який тип зачеплення має зубчаста передача: циклоїдальний, Новікова, евольвентний косозубий або прямозубий. Набір когнітивних карт розроблений для первинного типу виробів значно спрощує розв’язання задачі відповідності вузла певним стандартам.

Задача співставлення знайдених розмірів зі стандартними та пошук співпадіння є відомою проблемою розпізнавання образів [11]. Розділяючи поверхні є однією з відомих моделей розпізнавання образів (R — моделі). Обрано найпростіший клас розділяючих поверхонь – гіперплощини, рівняння яких злипається наступним чином [2]:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i + a_{n+1} = 0.$$

Нехай множина допустимих розмірів розділена на два класи: $K_1, K_2, K_1 \cap K_2 = \emptyset$. Класом K_1 , може бути, наприклад, стандартний ряд метричних кроків різьблення, а класом K_2 – стандартний ряд дюймових кроків різьблення, перерахованих у міліметри. Нехай також відомо, що розміри S_1, \dots, S_m належать K_1 , розміри S_{m+1}, \dots, S_q – K_2 . Далі за R – моделлю маємо ввести числові характеристики $\beta(S_i) = \beta_i$ – вага розміру, але розміри вже є числами, тому коефіцієнти β_1, \dots, β_q приймають значення одиниця.

Ваги розмірів можуть використовуватись, якщо нам потрібно врахувати наявність першого переважного ряду розмірів та другого ряду.

Процес розпізнавання для $I(S) = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ відбувається наступним чином [3]:

$$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n a_i x_i + a_{n+1}$$

Розділимо об’єкти S_1, \dots, S_m на множини K_1^+, K_1^- : $S_i \in K_1^+$, якщо $f(I(S_i)) \geq 0$; $S_i \in K_1^-$, якщо $f(I(S_i)) < 0$. Аналогічно об’єкти S_{m+1}, \dots, S_q розділимо на множини K_2^+, K_2^- . Розглянемо величини

$$K_1^+ = \sum_{S_i \in K_1^+} (S_i), \quad K_1^- = \sum_{S_j \in K_1^-} (S_j)$$

та аналогічні їм величини K_2^+, K_2^- .

Вчислюємо $f(I(S))$. Співставимо S два числа: $D_1(S), D_2(S)$ – відповідно, – значення функції належності S класам K_1, K_2 .

Якщо $f(I(S)) \geq 0$, то

$$D_1(S) = \frac{K_1^- + K_2^-}{K_1^- + K_2^-}, D_2(S) = \frac{K_2^+ + K_1^+}{K_1^+ + K_2^+},$$

де K^- та K^+ є попереднім та наступним значенням з стандартного ряду розмірів.

При $f(I(S)) < 0$: $D_1(S) = \frac{K_1^- + K_2^+}{K_1^- + K_2^+}$ та

аналогічно $D_2(S)$.

По числам $D_1(S)$, $D_2(S)$ приймається рішення про зарахування S в K_1 чи K_2 . Ця процедура задає вирішальне правило [3]. Розміри S_i знайдені з певною похибкою $\delta \geq 0$. Величина можливої похибки знайденого вимірюванням розміру від фактичного має бути встановлена заздалегідь. Тоді вирішальні правила, мають вигляд:

якщо $D_1(S) - D_2(S) > \delta$, то $S \in K_1$;

якщо $D_2(S) - D_1(S) > \delta$, то $S \in K_2$;

якщо $|D_1(S) - D_2(S)| \leq \delta$, то рішення не приймається, алгоритм відмовляється від класифікації S .

Протягом фази ідентифікації проводяться необхідні метрологічні вимірювання та дослідження фактичного стану наявного виробу. Над цим працює частина персоналу команди, будемо називати їх метрологами, бо переважна більшість операцій, що вони виконують, є метрологічними. Та члени команди проекту, які виконують організаційно-технічні функції, конструктори та спеціалісти з розрахунків, будемо називати їх інженери. Не розв'язаним є питання щодо чисельності інженерів та метрологів. Для того, щоб мати повне уявлення про розміри та фактичний стан наявного виробу, треба провести n – метрологічних операцій за час t . Тривалість операції складає Δt , а кількість працівників N_M . Тоді, якщо планувати операції за логічним зв'язком фініш-старт, тобто у даному випадку, проведення всіх вимірювань перед початком аналізу метрологічних даних інженерами, то необхідна чисельність метрологів складе:

$$N_M = \frac{n\Delta t}{t}$$

Насправді, для зменшення часу виконання проекту та затрат на метрологів, можливо планувати операції за логічним зв'язком старт-старт [2]. При цьому інженерний аналіз на протязі виконання певної групи метрологічних операцій дозволяє зменшити кількість операцій, яку ще має бути виконано. Вважаємо, що за результатами виконання групи метрологічних операцій інженерний аналіз дозволяє зменшити загальну кількість операцій на k_i операцій. Таким чином, можна записати кількість операцій, що

залишаються після першого вимірювання A_1 , другого A_2 і так далі A_i .

$$A_1 = (A_0 - 1 - k)$$

$$A_2 = (A_1 - 1 - k)$$

$$A_i = (A_{i-1} - 1 - k)$$

$$A_n = (A_{n-1} - 1 - k)$$

Або

$$A_1 = (A_0 - 1 - k)$$

$$A_2 = (A_0 - 2 - 2k)$$

$$A_i = (A_0 - i - ik)$$

$$A_n = (A_0 - n - nk)$$

Операція A_n є останньою, процес вимірювань завершується коли $A_n = 1$, тому

$$1 = (A_0 - n - nk)$$

Звідки

$$n = \frac{A_0 - 1}{k + 1}$$

Тоді час виконання всіх вимірювань

$$t = \frac{(A_0 - 1)\Delta t}{(k + 1)N_M}$$

залежить від аналізу команди проекту, що визначає k . Звичайно k є вірогідною величиною, яка змінюється у межах від k_{min} до k_{max} .

Графік залежності кількості операцій, що залишилися A_i від кількості опрацьованих операцій n має вигляд (рис. 3). Через те, що кількість операцій на кожному кроці є вірогідною величиною, фактична залежність $A = f(n)$ лежить в області між прямими, що виходять з точки A_0 на осі ординат до точок n_{min} та n_{max} на осі абсцис відповідно.

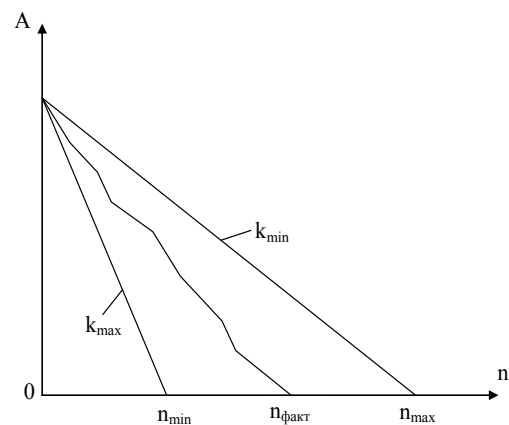


Рис. 3 – Залежність кількості чоловіко-годин від дати контрольної події

Відповідно до стандарту з кошторису метрологічних вимірювань [1] витрати, що необхідні для метрологічних вимірювань, а саме: амортизація обладнання, утримання приміщень, оренда обладнання та приміщень, тощо відносять до частки зарплати метрологів. Аналогічним чином, вважаємо, що затрати на оренду чи придбання комп'ютерів, програмного забезпечення, тощо включені в фонд зарплати інженерів. Фонд зарплати метрологів та інженерів визначається кількістю чоловіко-годин V_M та V_E , відповідно.

Спочатку основна робота припадає на метрологів, кількість їх чоловіко-годин показані стовпчиком білого кольору. Кількість чоловіко-годин інженерів (показані стовпчиком чорного кольору) можна вважати постійним ($V_E - \text{const}$) для кожної групи операцій. Кількість потрібних чоловіко-годин метрологів стрімко зменшується. Після завершення всіх метрологічних операцій потрібна ще одна група операцій інженерного аналізу для остаточних розрахунків та висновків. Тому загальна кількість чоловіко-годин інженерів по всім групам операцій V_E ($n+1$).

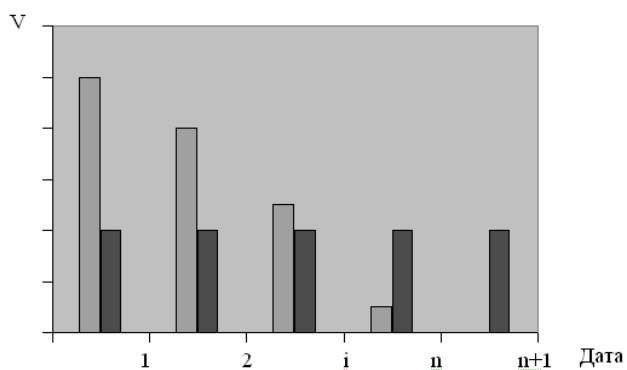


Рис. 4 – Залежність кількості чоловіко-годин від дати контрольної події

Оптимізація кошторису фази ідентифікації безпосередньо пов'язана з оптимізацією кількості потрібних чоловіко-годин метрологів та інженерів. Збільшення кількості інженерів дозволяє зменшити загальну кількість операцій та чоловіко-годин метрологів, а можливо, звільнення частини метрологів має плануватись заздалегідь. Сумарна кількість потрібних чоловіко-годин метрологів по всім групам операцій - $\sum_{i=1}^n V_{M_i}$. Водночас збільшення кількості інженерів може бути не виправдане, через їх більшу заробітну платню – бюджет може бути збільшено, а не зменшено. Завдання оптимізації може бути розв'язано на базі цільової функції

$$f(N_E) = \sum_{i=1}^n V_{M_i} + V_E(n+1)$$

Висновки

Встановлено, що у фазі ідентифікації зворотного інжинірингу команда проекту складається з двох груп, які умовно можна позначити як метрологи та інженери.

Встановлено, що використання логічного зв'язку start-start для груп операцій, метрологів та інженерів дозволяє суттєво скоротити загальну кількість метрологічних операцій.

Встановлено, що оптимізація бюджету повністю визначається оптимізацією потрібних чоловіко-годин метрологів та інженерів. Для розв'язання задачі оптимізації сформована цільова функція.

Список літератури

1. МЕТОДИКА визначення вартості метрологічних робіт (ПМУ 23-2001).
2. **Siqueira, A.** Abnormal Functional Resting-State Networks in ADHD: Graph Theory and Pattern Recognition Analysis of fMRI Data / **A. Siqueira** // *BioMed Research International*. – 2014. – № 4. – 10 p. – doi: 10.1155/2014/380531.
3. **Дюкова, Е. В.** Дискретный анализ признаков описаний в задачах распознавания большой размерности / **Е. В. Дюкова, Ю. И. Журавлев** // *Журнал вычислительная математика и математическая физика*. – 2000. – Т. 40, № 8. – С. 1264 – 1278.
4. **Иванов, В. В.** Эвристические модели в машиностроении. Монография / **В. В. Иванов** // Одесса: АО Бахва. – 2012. – 268 с.
5. **Иванов, В. В.** Модели проекту зворотного інжинірингу / **В. В. Иванов** // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ": Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. – 2017. – № 2. – С. 52–57.
6. **Seewig, J.** Design and verification of geometric roughness standards by reverse engineering / **J. Seewig, M. Eifler, F. Schneider, J. C. Aurich** // *Procedia CIRP*. – 2016. – № 45. – P. 259–262. – doi: 10.1016/j.procir.2016.02.157.
7. **Brandyberry, A.** Determinants of adoption for organizational innovations approaching saturation / **A. Brandyberry** // *European journal of innovation management*. – 2003. – Vol. 6, Iss. 3. – P. 150–158. – doi: 10.1108/14601060310486226.
8. **Lopez-Herrejon, R. E.** An assessment of search-based techniques for reverse engineering feature models / **R. E. Lopez-Herrejon, L. Linsbauer, J. A. Galindo, J. A. Parejo, D. Benavides, S. Segura, A. Egyed** // *Journal of systems and software*. – 2015. – № 103. – P. 353–369. – doi: 710.1016/j.jss.2014.10.037.
9. **Ferreira, J. C.** Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology / **J. C. Ferreira, N. F. Alves** // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2003. – № 142(2). – P. 374–382. – doi:10.1016/S0924-0136(03)00601-0.

10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) [Електронний ресурс]. Project Management Institute. – Режим доступу: <http://www.pmi.org/PMBOK-Guide-andStandards/pmbok-guide.aspx>. – 2008.
11. **Lazo-Cortesa, M. S.** On the relation between rough set reducts and typical testors / **M. S. Lazo-Cortesa, J. F. Martínez-Trinidad, J. A. Carrasco-Ochoa, G. Sanchez-Diaz** // *Information Sciences*. – 2015. – Vol. 294. – P. 152–163. – doi: 10.1016/j.ins.2014.09.045.
6. **Seewig, J., Eifler, M., Schneider, F., Aurich, J. C.** Design and verification of geometric roughness standards by reverse engineering. *Procedia CIRP*, 2016, **45**, 259–262, doi: 10.1016/j.procir.2016.02.157.
7. **Brandyberry, A.** Determinants of adoption for organizational innovations approaching saturation. *European journal of innovation management*, 2003, **6(3)**, 150–158, doi: 10.1108/14601060310486226.
8. **Lopez-Herrejon, R. E., Linsbauer, L., Galindo J.A., Parejo J.A., Benavides, D., Segura, S., Egyed, A.** An assessment of search-based techniques for reverse engineering feature models. *Journal of systems and software*, 2015, **103**, 353–369, doi: 10.1016/j.jss.2014.10.037.
9. **Ferreira, J. C., Alves, N.F.** Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, **142(2)**, 374–382, doi:10.1016/S0924-0136(03)00601-0.
10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) [Електронний ресурс]. Project Management Institute. – Available: <http://www.pmi.org/PMBOK-Guide-andStandards/pmbok-guide.aspx>, 2008.
11. **Lazo-Cortesa, M. S., Martínez-Trinidad, J. F., Carrasco-Ochoa, J.A., Sanchez-Diaz, G.** On the relation between rough set reducts and typical testors. *Information Sciences*, 2015, **294**, 152–163. doi: 10.1016/j.ins.2014.09.045.

Bibliography (transliterated)

1. МЕТОДИКА визначення вартості метрологічних робіт (PMU 23-2001).
2. **Siqueira, A.** Abnormal Functional Resting-State Networks in ADHD: Graph Theory and Pattern Recognition Analysis of fMRI Data. *BioMed Research International*, 2014, **4**, 10, doi: 10.1155/2014/380531
3. **Djukova, E. V., Zhuravlev, Ju. I.** Diskretnyj analiz priznakovyh opisaniy v zadachah raspoznavaniya bol'shoj razmernosti. *Zhurnal vychislitel'naja matematika i matematicheskaja fizika*, 2000, **40(8)**, 1264 – 1278.
4. **Ivanov, V. V.** Jevristicheskie modeli v mashinostroenii. Monografija. Odessa: AO Bahva, 2012, 268.
5. **Ivanov, V. V.** Modeli proektu zvorotnoho inzhynirynhu. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI": Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy*, 2017, **2**, 52–57.

Відомості про авторів (About authors)

Іванов Віктор Володимирович – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри машинознавства і деталей машин, м. Одеса, Україна; e-mail: vvict@ukr.net.

Victor Ivanov – Doctor of Technical Sciences, Professor of Mechanical Engineering and Machine Parts Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; vvict@ukr.net.

Чумак Наталія Володимирівна – старший інспектор відділу аспірантури і докторантури, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна; e-mail: n_chumak25@ukr.net.

Nataliia Chumak – inspector of Postgraduate and doctoral department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; e-mail: n_chumak25@ukr.net.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Іванов, В. В. Оптимізація розкладу проєктів зворотного інжинірингу стандартизованих виробів / **В. В. Іванов, Н. В. Чумак** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 16-21. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.03.

Please cite this article as:

Ivanov, V., Chumak, N. Optimization of curriculum of projects of the reverse engineering of the standardized wares. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **23** (1245), 16–21. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.03.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Іванов, В. В. Оптимізація розписання проєктів зворотного інжинірингу стандартизованих виробів / **В. В. Іванов, Н. В. Чумак** // *Вестник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 23 (1245). – С. 16-21. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.03.

АННОТАЦІЯ Розроблена когнітивна модель управління проєктом зворотного інжинірингу, яка включає необхідне метрологічне обладнання, програмне забезпечення, команду проєкту, а також евристичні методи управління проєктом. Розв'язані питання, по яким стандартам виготовлено виріб або його вузли і деталі з допомогою евристичних методів, базованих на використанні когнітивних карт і на базі моделей розпізнавання образів. Розглянуто послідовність операцій і встановлено, що використання логічної зв'язки старт-старт для груп операцій метрологів і інженерів дозволяє суттєво скоротити загальне число метрологічних операцій. Також встановлено, що оптимізація бюджету повністю визначається оптимізацією необхідних чоловіко-годин метрологів і інженерів. Для розв'язання задачі оптимізації сформульована цільова функція.

Ключові слова: зворотний інжиніринг; когнітивна модель управління; евристичні методи; моделі розпізнавання образів; послідовність процедур; цільова функція.

Надійшла (received): 31.05.2017