

## МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗВОРОТНОГО ІНЖИНІРИНГУ СТАНДАРТИЗОВАНИХ ВИРОБІВ

В. В. ІВАНОВ<sup>1\*</sup>, Н. В. ЧУМАК<sup>2</sup>

<sup>1</sup> кафедра машинознавства і деталей машин, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

<sup>2</sup> відділ аспірантури і докторантури, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

\*email: vvict@ukr.net

**АНОТАЦІЯ** Уточнено поняття зворотного інжинірингу. Показано як на підставі метрологічних вимірювань за допомогою бібліотек стандартних елементів та стандартних методів розрахунку, що реалізовані в САПР, може бути побудована концептуальна модель виробу. Послідовність процедур метрологічних, розрахункових та евристичних, яка при цьому виконується, формалізована у вигляді евристичного алгоритму.

**Ключові слова:** зворотний інжиніринг; САПР; концептуальна модель виробу; послідовність процедур; евристичний алгоритм

## METROLOGICAL ASPECTS OF REVERSE ENGINEERING OF STANDARDIZED PRODUCTS

V. IVANOV<sup>1</sup>, N. CHUMAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering and Machine Parts, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

<sup>2</sup> Postgraduate and doctoral department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

**ABSTRACT** The aim of the work is the development of an algorithm of reverse engineering for standardized products. To create metrological models, and even more to solve the complex task of reverse engineering, it is necessary to have not only metrological measurements and calculations using CAD, but also heuristic techniques that allow to recreate the conceptual model and design a new product instead of the damaged one taking into account real technological capabilities. These heuristic techniques are the selection of elements, the establishment of interrelations between elements, the identification of interrelated and independent groups of elements, the definition of inputs and outputs of the system, the use of models in the form of matrices and graphs. The relationship between realistic, conceptual, ideal and normative models is found in the case when the input data are the actual dimensions of the existing product, which are measured with certain errors. As a result of the work it is obtained the heuristic algorithm of the reverse engineering process for gear transmission; it is established that in order to determine the parameters of an ideal model, along with metrological measurements that allow us to find a realistic experimental model, it is necessary to use heuristic techniques and CAD; for complex engineering products with a high degree of standardization, reverse engineering is connected first of all with the use of databases of standard parts, elements of parts, steel grades, and the standard methods of calculation contained in CAE modules.

**Keywords:** reverse engineering; CAD; conceptual model; sequence of procedures; heuristic algorithm

### Вступ

Більшість дослідників розуміють зворотний інжиніринг досить вузько, як отримання математичної моделі на основі вимірювання реального об'єкту [1, 2, 3, 4, 5]. При такому підході зворотний інжиніринг включає наступні етапи: визначення параметрів виробу на основі вимірювань реального об'єкту; використання спеціального устаткування для сканування поверхонь; використання програмного забезпечення для формування 3-D поверхонь; створення математичної моделі об'єкту, яка дає можливість його дослідити та відтворити [1, 6, 7].

Інжинірингова компанія ТЕСІС пропонує послуги зворотного інжинірингу для випадків, коли при виготовленні виробу неможливо обійтись без його фізичного прототипу [6, 8].

Інжинірингова компанія Vibus наводить такий приклад, для обґрунтування необхідності своїх послуг. Підприємство досить довго використовує певне устаткування, а технічну документацію на нього було втрачено. Або це імпортоване обладнання, на

яке з самого початку не мали повної документації [6, 9]. Приходить час, коли важливі деталі виходять з ладу. Знайти креслення або фахівців, які знайомі з таким обладнанням, іноді буває вкрай важко. Зворотний інжиніринг за рахунок застосування координатно-вимірювального обладнання і відповідної програми по формуванню 3-D поверхонь дозволяє вирішити задачу відновлення креслень деталей. Проектна документація і математична модель деталі дають конструктору необхідну інформацію по розробці оснащення для її виготовлення.

Але поряд з таким розумінням зворотного інжинірингу є й інше уявлення – «зворотний інжиніринг є сучасним формулюванням колишнього поняття – копіювання, вдосконалення ...» [10]. Для нас в цьому визначенні важливо, що зворотний інжиніринг є не просто копіювання, а й вдосконалення. Існує ще одне визначення, а саме: «Зворотний інжиніринг – це дослідження деякого пристрою або програми з метою вивчення принципів роботи досліджуваного об'єкту. Найчастіше

використовується для створення об'єкту по функціональності аналогічного досліджуваному, але без точного копіювання його функцій» [11].

У цьому визначенні міститься важливе зауваження щодо того, що метою може бути не відтворення об'єкту і навіть не побудова його математичної моделі, а дослідження принципів його роботи. І цікавим є пряма вказівка на те, що створюваний об'єкт не обов'язково повинен бути точною копією, важливим є лише відтворення його функціональності.

Проведений огляд існуючих підходів до зворотного інжинірингу показує, що в основному вони спрямовані на відтворення складних поверхонь. Насправді обсяг завдань зворотного інжинірингу набагато ширший. Це відтворення конструкції, технічних характеристик і технічної документації за наявними зразками виробів.

Нами запропоновано наступне визначення: зворотний інжиніринг – це процес вивчення конструкції і технічних характеристик існуючого виробу, побудова на їх основі його математичної моделі і розробка технічної документації для його виготовлення.

### Постановка завдання

Завдання зворотного інжинірингу складне і багатогранне, але є дещо, що в значній мірі спрощує його вирішення – стандартизація. В сучасному машинобудуванні значна частина деталей є стандартними. Стандартними є елементи деталей, матеріали, розміри. Більш складні вироби мають більшу степінь стандартизації.

Мета роботи – розробка алгоритму зворотного інжинірингу для стандартизованих виробів.

### Виклад основного матеріалу

Вирішення завдання зворотного інжинірингу базується на трьох складових. Перша – це метрологічне обладнання. І не в такому вузькому сенсі як сканування та обмір складних поверхонь, а взагалі всі види метрологічного обладнання, включаючи також устаткування для хімічного аналізу. Другою складовою є програмне забезпечення і не тільки те, яке аналізує результати сканування. Все програмне забезпечення CAD/CAM/CAE необхідне для аналізу за допомогою розрахунків CAE і співставлення зі стандартами і базами даних уніфікованих елементів CAD. Програмне забезпечення необхідне для проектування CAD і для організації технологічного процесу CAM.

В машинобудуванні виріб може складатися з великої кількості уніфікованих вузлів, стандартних деталей і стандартних елементів деталей. При цьому відомі параметри ряду вузлів, в силу їх уніфікації, і розміри стандартних деталей. Наявність стандартних дискретно змінних параметрів, таких як: модуль,

посадочні розміри, міжосьові відстані та ін. з одного боку ускладнює пошук, а з іншого – дає додаткові можливості по розшифровці параметрів. Це дозволяє не здійснювати обмір всіх геометричних розмірів, а визначати тільки ключові, за якими можна встановити інші стандартні, пов'язані з ними розміри. Поряд з геометричними параметрами необхідно визначити механічні властивості матеріалів, похибки виготовлення і монтажу, що дозволить встановити точність, з якою були виготовлені деталі виробу.

Зворотний інжиніринг в широкому розумінні включає проектування. Наприклад, після встановлення параметрів оригінального виробу потрібно розробити вузол власної конструкції, який сумісний з оригінальним виробом.

Для визначення геометричних параметрів об'єкту нам необхідно знати з якою точністю він був виготовлений. Вимірюються не номінальні геометричні розміри, а фактичні геометричні розміри обумовлені похибками виготовлення, монтажу і похибками самого процесу вимірювання і вимірювальних приладів. Тобто в процесі вимірювань ми отримуємо експериментальну модель [12].

Вимірявши товщину зуба, ми не знаємо відхилення товщини зуба розрахункової, для евольвентного зубчастого колеса, з виміряною. Це пов'язано з тим, що це або значна похибка виготовлення, або неприпустима похибка вимірювань, або це зуб нарізаний зі зміщенням, а можливо це взагалі не евольвентне зачеплення, а циклоїдальне.

На основі експериментальної моделі отримаємо концептуальну модель, із залученням бібліотеки стандартних елементів CAD і розрахунків геометрії зубчастого зачеплення з використанням CAE. Концептуальна модель містить інформацію про тип зачеплення (евольвентне, циклоїдальне, цевочне, Новікова та ін.), стандарт, на основі якого зачеплення виготовлено (ISO, AGMA, DIN, ГОСТ тощо), основні геометричні та міцнісні характеристики. Точно встановити марку сталі, коефіцієнт корекції, величину фланкірування тощо, часто є неможливим. Та це й не завжди необхідно. При виготовленні зубчастого колеса на зміну тому, що вийшов з ладу в Україні, неможливо отримати заготовку колеса з японської сталі або поковку, що виготовляється в США. Немає обладнання для виготовлення коліс по стандартам AGMA або DIN. Важливо забезпечити необхідну міцність зубчастої передачі замість тієї, що вийшла з ладу, та ідентичні геометричні характеристики.

Все це дозволяє створити ідеальну модель зубчастого колеса.

Якщо геометричні та міцнісні характеристики можуть бути при більших витратах на дослідження все таки повністю відновлені, то точність зубчастого колеса ніяк не може бути встановлена на основі вимірювання однієї деталі. Нормативна модель об'єкту створюється в процесі проектування і оформлюється технічною документацією, містить параметри об'єкту і призначена для його створення

[12]. Тобто, при проектуванні зубчастої передачі замість тієї, що вийшла з ладу, ми самі повинні вказати технічні вимоги до неї. Точність оригінальної передачі опосередковано може бути встановлена на основі аналізу функцій і параметрів виробу, частиною якого вона була. Звичайно, не знаючи технічних умов, враховуємо наявні реальні технологічні можливості. (рис.1).

Реалістична модель відображає параметри зубчастого колеса, які можуть бути отримані з урахуванням особливостей способу вимірювання та використовуюваного вимірювального обладнання.

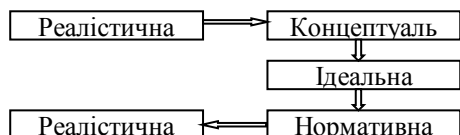


Рис. 1 – Метрологічні моделі об'єкту контролю

Таким чином, для створення метрологічних моделей, а тим більше для вирішення комплексної задачі зворотного інжинірингу необхідні не тільки метрологічні вимірювання і розрахунки з використанням САПР, а й евристичні прийоми, що дозволяють відтворити концептуальну модель і спроектувати новий виріб замість пошкодженого з урахуванням реальних технологічних можливостей.

Ці евристичні прийоми:

- виділення елементів,
- встановлення взаємозв'язків між елементами,
- виявлення взаємопов'язаних і незалежних груп елементів,
- визначення входів і виходів системи,
- використання моделей у вигляді матриць і графів [13].

Прі зворотному інжинірингу проектувальник виконує набір процедур. Деякі з них евристичні прийоми і самі процедури можуть складатися з операцій. певну послідовність дій прийнято називати алгоритмом. Однак дана послідовність не може бути реалізована у вигляді програми, тому що містить процедури - евристичні прийоми, що виконуються безпосередньо проектувальником. Тому точніше таку велику кількість процедур можна назвати евристичним. Безліч процедур виконуваних проектувальником відрізняється одна від одної, але існує якась інваріантна до об'єкту зворотного інжинірингу кількість процедур, яка виконується завжди [14,15,16]. Нами запропонована така інваріантна множина процедур (табл.1).

Множина процедур при зворотному інжинірингу зубчастої передачі може бути записана наступним чином:

(P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub>, P<sub>6</sub>, P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub>, P<sub>9</sub>, P<sub>10</sub>, P<sub>11</sub>, P<sub>12</sub>, P<sub>13</sub>, P<sub>14</sub>, P<sub>15</sub>, P<sub>16</sub>, P<sub>17</sub>, P<sub>18</sub>, P<sub>19</sub>, P<sub>20</sub>, P<sub>21</sub>, P<sub>22</sub>, P<sub>23</sub>, P<sub>24</sub>, P<sub>25</sub>, P<sub>26</sub>, P<sub>27</sub>, P<sub>28</sub>, P<sub>29</sub>, P<sub>30</sub>, P<sub>31</sub>, P<sub>32</sub>)

Аналіз передачі, що має ушкодження, починається з виділення елементів P<sub>1</sub> та фотофіксації

P<sub>6</sub>, яка дає можливість зафіксувати і дослідити пошкодження поверхні.

Таблиця 1 – Множина процедур при зворотному інжинірингу зубчастої передачі

1.	Виділення елементів	P <sub>1</sub>
2.	Встановлення взаємозв'язків між елементами	P <sub>2</sub>
3.	Виявлення взаємозв'язаних і незалежних груп елементів	P <sub>3</sub>
4.	Визначення входів і виходів системи	P <sub>4</sub>
5.	Використання моделей у вигляді матриць і графів	P <sub>5</sub>
6.	Фотофіксація	P <sub>6</sub>
7.	Макро- і мікроаналіз металів та сплавів	P <sub>7</sub>
8.	Визначення твердості	P <sub>8</sub>
9.	Випробування механічних властивостей матеріалів	P <sub>9</sub>
10.	Віброакустичні вимірювання	P <sub>10</sub>
11.	Вимірювання міжосьових відстаней корпусних деталей	P <sub>11</sub>
12.	Вимірювання посадочних поверхонь	P <sub>12</sub>
13.	Вимірювання зубчастих коліс, шліців, кулачків та інших спеціальних профілей	P <sub>13</sub>
14.	Вимірювання складних поверхонь	P <sub>14</sub>
15.	Використання бібліотеки уніфікованих вузлів	P <sub>15</sub>
16.	Використання бібліотеки стандартних деталей	P <sub>16</sub>
17.	Використання бібліотеки стандартних елементів деталей	P <sub>17</sub>
18.	Використання модулів САЕ. Стандартні методики розрахунку деталей.	P <sub>18</sub>
19.	Використання модулів САЕ для розрахунку динаміки	P <sub>19</sub>
20.	Використання модулів САЕ для розрахунку МКЕ	P <sub>20</sub>
21.	Створення 3-D моделі складних поверхонь	P <sub>21</sub>
22.	Проектування з використанням модулів САД	P <sub>22</sub>
23.	Проектування з використанням модулів САМ	P <sub>23</sub>
24.	Визначення стандартів відповідно до яких виготовлений виріб	P <sub>24</sub>
25.	Визначення стандартних вузлів, деталей, елементів деталей	P <sub>25</sub>
26.	Визначення розрахункових нагрузок для вузлів і деталей	P <sub>26</sub>
27.	Вивчення конструкції виробу	P <sub>27</sub>
28.	Створення математичної моделі конструкції	P <sub>28</sub>
29.	Пошук і вибір аналогів	P <sub>29</sub>
30.	Використання принципу уніфікації та методів секціонування, базового агрегату, конвертування, компаундування, модифікування, параметричних рядів	P <sub>30</sub>
31.	Використання принципу стандартизації і принципу технологічності	P <sub>31</sub>
32.	Використання принципу оптимального підбору матеріалу та принципу місцевої якості	P <sub>32</sub>

Параметр міжосьова відстань є один з найбільш інформативних. Вимірюємо її P<sub>11</sub>. Вимірюємо також параметри зубчастого зачеплення, а саме кількість зубів, висоту зуба, крок і т.п. P<sub>13</sub>. Використовуємо модулі САЕ для геометричного розрахунку параметрів зачеплення P<sub>18</sub>. Порівнюємо знайдені параметри зі стандартними P<sub>17</sub>. Визначаємо стандарт відповідно до якого виготовлено передачу P<sub>24</sub>.

Визначаємо стандартні елементи коліс  $P_{25}$ . Проводимо повний розрахунок геометричних параметрів, використовуючи модулі САЕ  $P_{18}$ . Визначаємо твердість поверхні зубів  $P_8$ . Використовуємо модулі САЕ для розрахунку передачі на міцність.  $P_{18}$ . Визначаємо розрахункові навантаження у зачепленні  $P_{26}$ . Після чого для аналізу пошкоджень може бути необхідним використання процедур – встановлення взаємозв'язків між елементами  $P_2$  та побудова моделі передачі  $P_5$ . Якщо цього не достатньо для аналізу причин пошкоджень, проводимо аналіз металу коліс  $P_7$ . Створюємо 3-D модель зубів коліс  $P_{21}$ . Використовуємо модуль САЕ для розрахунку МКЕ  $P_{20}$ . При необхідності проектування нової передачі замість пошкодженої, враховуємо принципи стандартизації і технологічності  $P_{31}$ , а також оптимального підбору матеріалу та місцевої якості  $P_{32}$ . Використовуємо модулі САЕ  $P_{22}$  та передаємо дані на металорізальне обладнання – модуль САМ  $P_{23}$ . Таким чином отриманий спрощений евриритм аналізу передачі.

Множина процедур при зворотному інжинірингу зубчастої передачі у спрощеному варіанті може бути записана наступним чином:

( $P_1, P_6, P_{11}, P_{13}, P_{18}, P_{17}, P_{24}, P_{25}, P_{18}, P_8, P_{18}, P_{26}, P_2, P_5$ )

Повний евриритм:

( $P_1, P_6, P_{11}, P_{13}, P_{18}, P_{17}, P_{24}, P_{25}, P_{18}, P_8, P_{18}, P_{26}, P_2, P_5, P_7, P_{21}, P_{20}, P_{31}, P_{32}, P_{22}, P_{23}$ ).

### Обговорення результатів

Зворотний інжиніринг є достатньо поширеним проектом для інжинірингових компаній. Але за браком теоретичних розробок та термінологічної визначеності, він часто не усвідомлюється, як такий. Це призводить до втрат часу і фінансів, через невизначеність послідовності дій для такого специфічного типу проектів. Застосування відповідної множини процедур для певного виробу дозволяє компанії накопичувати досвід з виконаних проектів. І з часом може бути упорядковане як стандартна множина процедур для проектів зворотного інжинірингу визначеного типу виробів.

Евриритм дає можливість складання розкладу процедур. Особливість проектів зворотного інжинірингу полягає в тому, що виконуючи процедури послідовно, ми отримуємо мінімальну вартість проекту, а при одночасному виконанні деяких процедур ми виграємо в часі, але збільшуємо вартість проекту. Евриритм дає підстави для оцінки вартості проекту, вірогідності знаходження вірного рішення, та оцінки ризику проекту на базі оцінки ризиків кожної з процедур.

### Висновки

1. Отримано евриритм процесу зворотного інжинірингу для зубчастої передачі.

2. Встановлено, що для визначення параметрів ідеальної моделі поряд з метрологічними вимірами,

які дозволяють знайти реалістичну експериментальну модель, необхідно використовувати евристичні прийоми і САПР.

3. Для складних машинобудівних виробів з високою ступінню стандартизації зворотний інжиніринг пов'язаний, перш за все, з використанням баз даних стандартних деталей, елементів деталей, марок сталей, а також стандартних методів розрахунків, що містяться в модулях САЕ.

### Список літератури

1. **Грабченко, А. И.** Современное оборудование и программное обеспечение обратного инжиниринга промышленных изделий / **Грабченко А. И., Доброскок В. Л., Чернышов С. И., Гаращенко Я. Н.** // *Збірник наукових праць НТУ "ХП"*: Сучасні технології в машинобудуванні. – 2010. – № 5. – С. 138-152.
2. **Raja, V.** Reverse engineering – an industrial perspective / **V. Raja, K. J. Fernandes** // *Springer*. – 2008. – № 1. – P. 242. – doi: 10.1007/978-1-84628-856-2.
3. **Доброскок, В. Л.** Обратный инжиниринг промышленных изделий с использованием оптико-цифровой установки объемного сканирования ImetricScan / **Доброскок В. Л., Чернышов С. И., Гаращенко Я. Н., Сидорчук Д. П.** // *Збірник наукових праць НТУ "ХП"*: Сучасні технології в машинобудуванні. – 2010. – № 4 – С. 123-135.
4. **Várady, T.** Reverse engineering of geometric models – an introduction / **T. Várady, R. R. Martin, J. Cox** // *Comput Aided Design*. – 1997. – Vol. 29, Iss. 4. – P. 255-268. doi: 10.1016/S0010-4485(96)00054-1.
5. **Клименко В. Ю.** Реверсный инжиниринг: учебн. пособие, Запорожье, 2009. – 116 с.
6. Зворотний інжиніринг/сайт *ЦентрСАПР*.–Режим доступу:[http://www.centersapr.com/static/reverse\\_engineering](http://www.centersapr.com/static/reverse_engineering)
7. **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. – 374-382. – doi:10.1016/S0924-0136(03)00601-0.
8. Инжиниринговая компания ТЕСИС / Режим доступу: / <http://www.thesis.com.ru>.
9. Компания Bibus Украина – Режим доступу: /<http://bibus.com.ua>.
10. Зворотний інжиніринг / сайт *Національний гірничий університет*. – Режим доступу: / [http://gmi.nmu.org.ua/ua/news/news\\_kaf/1406031](http://gmi.nmu.org.ua/ua/news/news_kaf/1406031).
11. Зворотна розробка / Вікіпедія. – [uk.wikipedia.org/wiki/Зворотна\\_розробка](http://uk.wikipedia.org/wiki/Зворотна_розробка).
12. <http://cyberleninka.ru/article/n/metrologicheskoe-modelirovanie-kak-osnova-proektirovaniya-i-realizatsii-metodik-vypolneniya-izmereniy>.
13. **Иванов, В. В.** Управление проектами обратного инжиниринга / **В. В. Иванов** // *Вісник національного технічного університету ХП*. – 2015. – 1. – С. 122-127.
14. **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.
15. **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: 10.1016/j.jss.2014.10.037.

16. **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.

#### Bibliography (transliterated)

1. **Grabchenko, A. I., Dobroskok, V. L., Chernyshov, S. I., Gerashchenko, Ya. N.** Sovremennoe oborudovanie i programmnoe obespechenie obratnogo inzhiniringa promyshlennykh izdeliy. *Zbirnyk naukovykh prats NTU "HPI": Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni*, 2010, **5**, 138-152.
2. **Raja, V., Fernandes, K. J.** Reverse engineering – an industrial perspective. *Springer*, 2008, **1**, 242, doi: 10.1007/978-1-84628-856-2.
3. **Dobroskok, V. L., Chernyshov, S. I., Gerashchenko, Ya. N., Sidorchuk D. P.,** Obratniy inzhiniring promyshlennykh izdeliy s ispolzovaniem optiko-tsifrovoy ustanovki ob'emnogo skanirovaniya ImetricScan. *Zbirnyk naukovykh prats NTU "HPI": Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni*, 2010, **4**, 123-135.
4. **Várady, T., Martín, R. R., Cox, J.** Reverse engineering of geometric models – an introduction. *Comput Aided Design*, 1997, **4**(29), 255-268, doi:10.1016/S0010-4485(96)00054-1.
5. **Klimenko, V. Yu.** (2009). Reversnyi inzhiniring: uchebnoe posobie, Zaporozhye, 116.
6. Zvortniy inzhiniring / sait Tsent SAPR. – Avialable: /http://www.center-sapr.com/static/reverse\_engineering.
7. **Ferreira, J. C., Alves, N. F.** Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, **2**(142), 374-382, doi: 10.1016/S0924-0136(03)00601-0.
8. Inzhiniringovaya kompaniya TESIS – Avialable: / http://www.thesis.com.ru.
9. Kompaniya Bibus Ukraina. – Avialable: /http://bibus.com.ua.
10. Zvortniy Inzhiniring. *Cait Natsionalniy gimichiy universitet* – Avialable: /http://gmi.nmu.org.ua/ua/news/news\_kaf/1406031.
11. Zvortna rozrobka. *Wikipedia*. – Avialable: uk.wikipedia.org/wiki/Zvortna\_rozrobka.
12. http://cyberleninka.ru/article/n/metrologicheskoe-modelirovaniye-kak-osnova-proektirovaniya-i-realizatsii-metodik-vypolneniya-izmereniy.
13. **Ivanov, V. V.** Upravlenie proektami obratnogo inzhiniringa. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 2015, **1**, 122 – 127.
14. **Brandyberry, A.** Determinants of adoption for organizational innovations approaching saturation. *European journal of innovation management*, 2003, **3**(6), 150-158, doi: 10.1108/14601060310486226.
15. **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.
16. **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.

#### Відомості про авторів (About authors)

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

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

**Чумак Наталія Володимирівна** – старший інспектор відділу аспірантури і докторантури, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри машинознавства і деталей машин, 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.** Метрологічні аспекти зворотного інжинірингу стандартизованих виробів / **В. В. Іванов, Н. В. Чумак** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 137-141. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.19.

Please cite this article as:

**Ivanov, V., Chumak, N.** Metrological aspects of reverse engineering of standardized products. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **7** (1229), 137–141. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.19

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Іванов, В. В.** Метрологические аспекты обратного инжиниринга стандартизованных изделий / **В. В. Иванов, Н. В. Чумак** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 137-141. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.19.

**АННОТАЦИЯ** Уточнено понятие обратного инжиниринга. Показано как на основании метрологических измерений с помощью библиотек стандартных элементов и стандартных методов расчета, реализованных в САПР, может быть построена концептуальная модель изделия. Последовательность процедур метрологических, расчетных и эвристических, которая при этом выполняется, формализована в виде эвритма.

**Ключевые слова:** обратный инжиниринг; САПР; концептуальная модель изделия; последовательность процедур; эвритм

*Надійшла (received) 24.02.2017*