

**С.В.КОВАЛЕВСЬКИЙ, О.С.КОВАЛЕВСЬКА**

### АКТУАЛІЗАЦІЯ ЕКСПЕРТНИХ МОДЕЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У статті розглянуті питання, пов'язані із застосуванням експертних систем для інноваційних технічних рішень. Проведено аналіз методів для вирішення практичних завдань, заснованих на статистичному моделюванні предметної області. Встановлено, що створення моделей експертних оцінок за допомогою нейронних мереж і реалізація цього підходу для оцінок структури інноваційного технологічного устаткування є перспективним напрямком. Особливістю таких моделей, є здатність багатовимірної апроксимації даних. Показано можливість та переваги використання математичних моделей на базі однорідних мереж для розв'язання обернених задач в оптимізаційній постановці. Викладений підхід був реалізований для оцінок структури інноваційного технологічного устаткування для механоскладального виробництва верстатів-роботів з кінематикою паралельної структури. В якості вихідної інформації про об'єкт прийнята фасетна класифікація структур механізмів з кінематикою паралельної структури. Фасетний метод класифікації стосовно верстатів-роботів дає можливість описати безліч можливих рішень для аналізу і вибору їх структури. Результати цієї оцінки показали якісне збіг з рівнями значущості елементів механізму з кінематикою паралельної структури на безлічі прецедентів, схильних до експертними оцінками. Розроблені методи аналізу структури інноваційних механізмів, використаних ознак пов'язаності графів механізмів з кінематикою паралельної структури, матриць їх інцидентності і запропонованого методу потенціалів. Запропоновано методику проектування механічних ланок виконавчих механізмів при застосуванні принципу мультипликативності рухомих плечей механізмів з кінематикою паралельної структури, дозволяє отримати збільшення передавального відношення виконавчого механізму. Проведено оцінку достовірності розподілів експертних оцінок по кожному з прецедентів шляхом ранжирування показників і з використанням вербально-числової шкали Харрінгтона для забезпечення достовірності експертних оцінок, використаних для створення моделі.

**Ключові слова:** експертні моделі, нейронні мережі, фасетна класифікація, інноваційні технологічні рішення.

**С.В.КОВАЛЕВСКИЙ, Е.С.КОВАЛЕВСКАЯ**

### АКТУАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с применением экспертных систем для инновационных технических решений. Проведен анализ методов для решения практических задач, основанных на статистическом моделировании предметной области. Установлено, что создание моделей экспертных оценок при помощи нейронных сетей и реализация этого подхода для оценок структуры инновационного технологического оборудования является перспективным направлением. Особенностью таких моделей, является способность многомерной аппроксимации данных. Показаны возможности и преимущества использования математических моделей на базе однородных сетей для решения обратных задач в оптимизационной постановке. Изложенный подход был реализован для оценок структуры инновационного технологического оборудования для механосборочного производства станков-роботов с кинематикой параллельной структуры. В качестве исходной информации об объекте принята фасетная классификация структур механизмов с кинематикой параллельной структуры. Фасетный метод классификации применительно к станков-роботов дает возможность описать множество возможных решений для анализа и выбора их структуры. Результаты этой оценки показали качественное совпадение с уровнями значимости элементов механизма с кинематикой параллельной структуры на множестве прецедентов, подверженных экспертными оценками. Разработанные методы анализа структуры инновационных механизмов, использованных признаков связанности графов механизмов с кинематикой параллельной структуры, матриц их инцидентности и предложенного метода потенциалов. Предложена методика проектирования механических звеньев исполнительных механизмов при применении принципа мультипликативности подвижных плеч механизмов с кинематикой параллельной структуры, позволяет получить увеличение передаточного отношения исполнительного механизма. Проведена оценка достоверности распределений экспертных оценок по каждому из прецедентов путем ранжирования показателей и с использованием вербально-числовой шкалы Харрингтона для обеспечения достоверности экспертных оценок, использованных для создания модели.

**Ключевые слова:** экспертные модели, нейронные сети, фасетная классификация, инновационные технологические решения.

**S.V.KOVALEVSKYY, O.S.KOVALEVSKA**

### ACTUALIZATION OF EXPERT MODELS WITH THE HELP OF NEURAL NETWORKS

The article deals with issues related to the use of expert systems for innovative technical solutions. The analysis of methods for solving practical problems based on statistical modeling of the subject area. It has been established that the creation of expert assessment models using neural networks and the implementation of this approach for assessing the structure of innovative technological equipment is a promising direction. A feature of such models is the ability of multidimensional approximation of data. The possibilities and advantages of using mathematical models based on homogeneous networks for solving inverse problems in an optimization formulation are shown. The described approach was implemented to assess the structure of innovative technological equipment for the mechanical assembly production of machine-robots with the kinematics of a parallel structure. As a source of information about the object, a faceted classification of the structures of mechanisms with the kinematics of a parallel structure was adopted. The faceted classification method applied to machine tools-robots makes it possible to describe many possible solutions for the analysis and selection of their structure. The results of this evaluation showed a qualitative coincidence with the levels of significance of the elements of the mechanism with the kinematics of a parallel structure on a set of precedents subject to expert assessments. Developed methods for analyzing the structure of innovative mechanisms, used signs of connectedness of the graphs of mechanisms with the kinematics of a parallel structure, their incidence matrices and the proposed method of potentials. A technique for designing mechanical links of actuators when applying the principle of the multiplicativity of the moving arms of mechanisms with the kinematics of a parallel structure is proposed, which allows an increase in the actuator ratio to be obtained. The assessment of the reliability of the distribution of expert assessments for each of the precedents was carried out by ranking the indicators and using the Harrington number-verbal scale to ensure the accuracy of the expert estimates used to create the model.

**Keywords:** expert models, neural networks, faceted classification, innovative technological solutions.

**Вступ.** При вирішенні завдань проектування технічних, зокрема - технологічних систем, пров'яз інженерами необхідних компетенцій залежить від їх рівня знань та інженерного досвіду. Конкуренція на ринку машинобудівної продукції при створенні

виробів і виробництв вимагає постійного оновлення і поліпшення значень критеріїв їх конкурентоспроможності. У цих умовах достовірні оцінки і прогнозування інноваційних технічних і технологічних рішень набуває особливого значення

для нової галузі інженерної діяльності - інноватики [1].

Під прикладною інноватикою розуміється в різних галузях господарювання напрям інноваційної діяльності з вирішення проблем планування, організації і реалізації нововведень [7].

Більшість інноваційних технічних рішень використовують методи і алгоритми функціонально-вартісного аналізу, експертних оцінок, морфологічних таблиць, генетичного прогнозування, як засобів досягнення бажаного результату [2,3,4,5]. Ці методи засновані на статистичному моделюванні предметної області і репрезентативних оцінках прецедентів, що залежать від неявно існуючих структурних зв'язків умовних «входів» і «виходів» моделей об'єктів.

#### **Аналіз останніх досліджень та літератури.**

Експертні системи являють собою розділ штучного інтелекту і використовуються для підвищення продуктивності та якості прийнятих рішень [8].

Експертні системи орієнтовані на вирішення широкого кола завдань в неформалізованих областях, на додатки, які до недавнього часу вважалися малодоступними для обчислювальної техніки.

При вирішенні практичних завдань експертні системи досягають результатів, які не поступаються, а іноді і перевершують можливості людей-експертів, не оснащених ЕОМ. Особливо широко застосування експертні системи отримали в медицині, математиці, машинобудуванні, хімії, геології, обчислювальній техніці, бізнесі, законодавстві, обороні. В даний час особливо актуальне використання експертних систем в таких додатках, як освіта, психолого - педагогічна діагностика та тестування.

Експертні системи будуються для вирішення широкого кола проблем в таких областях, як:

- Прогнозування - проектування можливих наслідків даної ситуації.
- Діагностика - визначення причин несправностей у складних ситуаціях на основі спостережуваних симптомів.
- Проектування - знаходження конфігурації компонентів системи, яка задовольняє цільовим умов і безлічі проектних обмежень.
- Планування - розробка послідовності дій для досягнення множини цілей за даних початкових умов і тимчасові обмеження.
- Моніторинг - порівняння спостережуваного поведінки системи з її очікуваним поведінкою.
- Інструкування - допомога в освітньому процесі з вивчення технічної області.
- Управління - управління поведінкою складного середовища [9, 10].

Найбільш корисною характеристикою експертної системи є те, що вона застосовує для вирішення проблем високоякісний досвід. Цей досвід може представляти рівень мислення найбільш кваліфікованих експертів в даній області, що веде до рішень творчих, точних і ефективних. Саме високоякісний досвід в поєднанні з умінням його застосовувати робить систему рентабельною, здатною заслужити визнання на ринку. Цьому також сприяє

гнучкість системи. Система може нарощуватися поступово відповідно до потреб бізнесу або замовника.

Іншою корисною рисою експертних систем є наявність в них прогностичних можливостей. Експертна система може функціонувати в якості моделі рішення задачі в заданій області, даючи очікувані відповіді в конкретній ситуації і показуючи, як зміняться ці відповіді в нових ситуаціях. Експертна система може пояснити докладно, яким чином нова ситуація привела до змін. Це дозволяє користувачеві оцінити можливий вплив нових фактів або інформації і зрозуміти, як вони пов'язані з рішенням. Аналогічно користувач може оцінити вплив нових стратегій або процедур на рішення, додаючи нові правила або змінюючи вже існуючі.

Важливою властивістю експертних систем є можливість їх застосування для навчання і тренування. Експертні системи можуть бути розроблені з розрахунком на подібний процес навчання, так як вони вже містять необхідні знання та здатні пояснити процес свого міркування. Залишається тільки додати програмне забезпечення, що підтримує відповідний вимогам ергономіки інтерфейсу [11-14].

У той час як експертні системи пробують ввести досвід людей в комп'ютерну програму, нейронні мережі намагаються створити значущі моделі з великої кількості даних. Нейронні мережі можуть розпізнавати моделі, занадто неясні для людей, і адаптувати їх при отриманні нової інформації.

Нейромережіві технології, на відміну від експертних систем, призначені для відтворення неусвідомлених розумових зусиль людини. Такого роду технології використовуються для розпізнавання будь-яких подій або предметів. З їх допомогою можна відтворити численні зв'язки між безліччю об'єктів. Принципова відмінність штучних нейромереж від звичайних програмних систем, наприклад експертних, полягає в тому, що вони не вимагають програмування. Вони самі настроюються, тобто навчаються тому, що потрібно користувачеві [15-17].

Таким чином, аналіз останніх досліджень, свідчить про те, що експертні системи стали досить популярним засобом, що використовується для прийняття рішень, та багато з таких систем показали свою досить високу ефективність [18,19]. Однак, вони мають ряд недоліків. По-перше, це досить висока вартість і складність розробки і підтримки робочого стану систем подібного роду. По-друге, потрібно багато часу для вивчення алгоритмів мислення людей-експертів і трансляцію їх у правила, на яких буде побудована експертна система. По-третє, такі системи в більшості своїй не здатні до навчання і автоматичної модифікації закладених у них алгоритмів на основі накопиченого досвіду. Це означає, що будь-яка зміна оточуючого середовища може призвести до істотного зниження якості висновків, одержуваних системою. Тому, **метою досліджень** є створення моделі експертних оцінок за допомогою нейронних мереж, та реалізація цього підходу для оцінок структури інноваційного технологічного устаткування.

#### **Матеріали та результати дослідження.**

Нехай  $j$ -й об'єкт ( $j=1,2,\dots,m$ ) представлений безліччю  $i$  «входів» ( $i=1,2,\dots,n$ )  $\bar{X} \in x_{11}, x_{21}, \dots, x_{12}, x_{22}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{nm}$ , яким відповідає безліч експертних оцінок  $\bar{E} \in e_1, e_2, \dots, e_j, \dots, e_m$ , тобто  $e_j \leftrightarrow \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{nj}\}$ . Створена таблиця кортежів прецедентів і їх експертних оцінок (табл. 1)

Таблиця 1 - Вихідні дані для створення моделі експертних оцінок

№, пп	$\bar{X}$						$\bar{E}$
1	$x_{11}$	$x_{21}$	...	$x_{i1}$	...	$x_{n1}$	$e_1$
2	$x_{12}$	$x_{22}$	...	$x_{i2}$	...	$x_{n2}$	$e_2$
...	...	...	...	...	...	...	...
$j$	$x_{1j}$	$x_{2j}$	...	$x_{ij}$	...	$x_{nj}$	$e_j$
...	...	...	...	...	...	...	...
$m$	$x_{1m}$	$x_{2m}$	...	$x_{im}$	...	$x_{nm}$	$e_m$

Інструментом створення моделі експертних оцінок є математична однорідна мережа на нейроподібних елементах. Особливістю такої моделі є здатність багатовимірної апроксимації даних, представлених в табл. 1. Причому, прагнення зменшити число нейроподібних елементів веде до втрати точності відтворення даних таблиці кортежів, але на кордоні максимально допустимої похибки моделі спостерігається максимальне «згладжування» сплайнів в  $n$ -вимірному просторі. Таким чином, може бути створена нейромережева модель будь-якого об'єкта, навіть при слабкій формалізації завдання його експертних оцінок.

Найбільш яскраво розкриваються можливості і переваги використання математичних моделей на базі однорідних мереж для розв'язання обернених задач в оптимізаційній постановці. Основна мета рішення таких задач є пошук таких векторів  $\{x_{1opt}, x_{2opt}, \dots, x_{iopt}, \dots, x_{nopt}\}$ , при яких експертна

оцінка  $e_{opt}$  досягає свого оптимального значення.

Математичний опис оптимізаційної постановки задачі можна представити в наступному вигляді:

Цільова функція:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = e_{opt} \rightarrow \max$$

при обмеженнях:

$$x_{1min} \leq x_1 \leq x_{1max},$$

$$x_{2min} \leq x_2 \leq x_{2max},$$

$$\dots \dots \dots$$

$$x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax},$$

$$\dots \dots \dots$$

$$x_{nmin} \leq x_n \leq x_{nmax}.$$

Представлена система обмежень може бути

надана в більш жорсткому вигляді, проте суті своїй постановка оптимізаційної задачі не змінюється.

Викладений підхід був реалізований для оцінок структури інноваційного технологічного устаткування для механоскладального виробництва верстатів-роботів з кінематикою паралельної структури. В якості вихідної інформації про об'єкт прийнята фасетна класифікація структур механізмів з кінематикою паралельної структури.

Фасетний метод класифікації стосовно до верстатів-роботів дає можливість описати безліч можливих рішень для аналізу і вибору їх структури. Тоді безліч вихідних даних представляється у вигляді:

$$x_{11}, x_{21}, \dots, x_{12}, x_{22}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{nm},$$

де  $i$  – порядковий номер елемента структури механізму з кінематикою паралельної структури;  $j$  – порядковий номер варіанта - прецеденту механізму з кінематикою паралельної структури, який оцінюється експертною оцінкою  $e_j$ .

Для забезпечення достовірності експертних оцінок, використаних для створення моделі, яка б дозволила обґрунтувати оптимальну структуру механізму з кінематикою паралельної структури на безлічі обмежень, що задаються, була проведена оцінка достовірності розподілів експертних оцінок по кожному з прецедентів шляхом ранжирування показників  $i$  з використанням вербально-числової шкали Харрінгтона [6].

Результати цієї оцінки показали якісний збіг з рівнями значущості елементів механізму з кінематикою паралельної структури на безлічі прецедентів, підданих експертними оцінками. Це дозволило зробити висновок про можливість використання створеної моделі експертних оцінок механізму з кінематикою паралельної структури для оптимізації їх конструкції, яка полягала в тому, щоб знайти таке поєднання складових фасетного опису, яке б могло сформувати максимальну оцінку  $e_j$ .

#### Висновки.

Представлена фасетна система класифікації механізмів з кінематикою паралельної структури, на основі яких показано безліч варіантів їх структур. Сполучення класифікаційних ознак в межах їх змінюваних діапазонів дає можливість прогнозувати можливості обладнання механоскладальних цехів на основі механізмів з кінематикою паралельної структури.

На підставі викладеного розроблені методи аналізу структури інноваційних механізмів використаних ознак пов'язаності графів механізмів з кінематикою паралельної структури, матриць їх інцидентності і запропонованого методу потенціалів. Це надало можливість запропонувати методіку проектування механічних ланок виконавчих механізмів при застосуванні принципу мультиплікативності рухомих плечей механізмів з кінематикою паралельної структури, що дозволяє отримати збільшення передавального відношення виконавчого механізму в 3-5 разів.

## Список литературы

1. Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б. *Системотехника инновационной подготовки производства в машиностроении*. Москва: Машиностроение, 2012. 568 с.
2. Кузнецов Ю. М. Світові тенденції і перспективи розвитку верстатобудування в Україні. *Вісник НПУ ім. М. П. Драгоманова*. Київ, НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2007. №1. С. 45–55.
3. Кузнецов Ю. М., Крижанівський В. А., Скляр Р. А. Сучасний стан, прогнозування і перспективи розвитку верстатів з паралельною кінематикою. *Вісник Житомир. держ. техн. ун-та. Сер.: Технічні науки*. Житомир, 2005. №1. С. 320–333.
4. Струтинський В. Б. Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури. *Вісник НТУ «КПІ». Сер.: Машинобудування*, 2009. № 57. С. 198–207.
5. Щелкунов С. Б., Виноградов С. В., Щелкунова М. Є., Сарілов М. Ю. Автоматизація проектування механізмів паралельної структури. *Фундаментальні дослідження*, Пенза, 2015. №2. С. 374–375.
6. Зубрецькая Н.А., Федін С. С. Повышение достоверности принятия решений о качестве продукции на основе нечеткой модели обобщенного показателя. *Системы обработки информации. Сб. научн. тр. Харків. нац. ун-т пов. сил*. Харків. 2012. №3. С. 26–29.
7. Волков О. І., Денисенко М. П., Гречан А. П. *Інноваційний розвиток промисловості України*. Київ: КНТ, 2006. 648 с.
8. Трофимов В. В. *Методы принятия управленческих решений: учебник для бакалавров*. Москва: Юрайт, 2013. 335 с.
9. Ясницький Л. М. *Введення в штучний інтелект*. Київ: Академія, 2005. 176 с.
10. Гаскаров Д. Б. *Інтелектуальні інформаційні системи*. Київ: Вища школа, 2003. 168 с.
11. Зелинський С. Э. *Автоматизация управления предприятием*. Киев: Кондор, 2006. 518 с.
12. Кравченко В. Г. *Проектування автоматизованих інформаційних систем*. Київ: КНЕУ, 2008. 360 с.
13. Новак В. О. *Інформаційне забезпечення менеджменту*. Київ: Кондор, 2006. 462 с.
14. Leondes H., Cornelius T. Expert systems: the technology of knowledge management and decision making for the 21st century. *Sea Harbor Drive*. Florida. 2002. PP. 1–22.
15. Leith P. The rise and fall of the legal expert system. *European Journal of Law and Technology*. University of Warwick. 2010. № 1. PP. 1–16.
16. Haskin D. *Years After Hype. Expert Systems Paying Off For Some*. Sparttanburg: Datamation. 2013. 328 p.
17. Wong K. Expert system applications in business: a review and analysis of the literature. *Information and Management*. Youngstown. 2013. № 29. PP. 141–152.
18. Hollan J. *STEAMER: An interactive inspectable simulation-based training system*. Pittsburg: AI Magazine, 2013. 237 p.
19. Jump G. M. Experience Using Knowledge-Based Reasoning in Real Time Process Control. *International Federation of Automatic Control. Symposium on Compute Aided Design in Control Systems*. Cambridge. 2013. 328 p.
20. Kuznyetsov Yu. M. Svitovi tendentsiyi i perspektivy rozvytku verstatobuduvannya v Ukraini [World trends and prospects for machine tool development in Ukraine]. *Visnyk NPU im. M. P. Dragomanova. Kyiv, NPU im. M. P. Dragomanova*. 2007, no. 1. pp. 45–55.
21. Kuznyetsov Yu. M., Kryzhanivskyy V. A., Sklyarov R. A. Suchasnyy stan, prohnozuvannya i perspektivy rozvytku verstativ z paralel'noyu kinematykoyu [Current state, forecasting and prospects of development of machines with parallel kinematics.]. *Visnyk Zhytomyr. derzh. tekhn. un-ta. Ser.: Tekhnichni nauky. Zhytomir*, 2005. no. 1. pp. 320–333.
22. Strutynskyy V. B. Teoretychniy analiz zhorstkosti shestykoordinatnoho mekhanizmu paralel'noyi struktury [Theoretical analysis of the stiffness of the six-coordinate mechanism of a parallel structure]. *Visnyk NTU «KPI». Ser.: Mashynobuduvannya*, 2009. no. 57. pp. 198–207.
23. Shchelkunov Ye. B., Vynogradov S. V., Shchelkunova M. Ye., Sarilov M. Yu. Avtomatyzatsiya proektuvannya mekhanizmiv paralel'noyi struktury [Automation of the design of mechanisms of parallel structure]. *Fundamental'ni doslidzhennya, Penza*, 2015. no. 2. pp. 374–375.
24. Zubretskaya N.A., Fedin S. S. Povyshenie dostovernosti prinyatiya resheniy o kachestve produktsii na osnove nechetkoy modeli obobshchennogo pokazatelya [Improving the reliability of making decisions about product quality based on a fuzzy model of a generalized indicator]. *Systemy obrobky informatsiyi. Sb. nauchn. tr. Kharkiv. nats. un-t pov. cyl. Kharkiv*. 2012. no. 3. pp. 26 – 29.
25. Volkov O. I., Denysenko M. P., Hrechak A. P. *Innovatsiynyy rozvytok promyslovosti Ukrainy* [Innovative development of Ukrainian industry]. Kyiv: KNT, 2006. 648 p.
26. Trofimov V. V. *Metody prinyatiya upravlencheskikh resheniy: uchebnyk dlya bakalavrov* [Management decision-making methods: a textbook for bachelors]. Moskva: Yurayt, 2013. 335 p.
27. Yasnyts'kyy L. M. *Vvedennya v shtuchnyy intelekt* [Introduction to artificial intelligence]. Kyiv: Akademiya, 2005. 176 p.
28. Haskarov D. B. *Intelektual'ni informatsiyi systemy* [Intelligent Information Systems]. Kyiv: Vyshcha shkola, 2003. 168 p.
29. Zelinskiy S. E. *Avtomatyzatsiya upravleniya predpriyatiem* [Automation of enterprise management]. Kiev: Kondor, 2006. 518 p.
30. Kravchenko V. H. *Proektuvannya avtomatyzovanykh informatsiynikh system* [Designing automated information systems]. Kyiv: KNEU, 2008. 360 p.
31. Novak V. O. *Informatsiyne zabezpechennya menedzhmentu* [Information provision of management]. Kyiv: Kondor, 2006. 462 p.
32. Leondes H., Cornelius T. Expert systems: the technology of knowledge management and decision making for the 21st century. *Sea Harbor Drive*. Florida. 2002. pp. 1–22.
33. Leith P. The rise and fall of the legal expert system. *European Journal of Law and Technology*. University of Warwick. 2010. № 1. pp. 1–16.
34. Haskin D. *Years After Hype. Expert Systems Paying Off For Some*. Sparttanburg: Datamation. 2013. 328 p.
35. Wong K. Expert system applications in business: a review and analysis of the literature. *Information and Management*. Youngstown. 2013. № 29. pp. 141–152.
36. Hollan J. *STEAMER: An interactive inspectable simulation-based training system*. Pittsburg: AI Magazine, 2013. 237 p.
37. Jump G. M. Experience Using Knowledge-Based Reasoning in Real Time Process Control. *International Federation of Automatic Control. Symposium on Compute Aided Design in Control Systems*. Cambridge. 2013. 328 p.

## References (transliterated)

1. Selivanov S. G., Guzaïrov M. B. *Sistemotekhnika innovatsionnoy podgotovki proizvodstva v mashinostroyeni*. [System engineering of innovative preproduction in mechanical engineering.] Moscow, Mashinostroyeni, 2012. 568 p.

Поступила (received) 30.10.2018

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Ковалевський Сергій Вадимович (Ковалевский Сергей Вадимович, Kovalevskyy Serhiy Vadimovich)** – доктор технічних наук, професор, кафедра технології машинобудування ДДМА; м. Краматорськ, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4708-4091>; e-mail: [kovalevskii@dgma.donetsk.ua](mailto:kovalevskii@dgma.donetsk.ua)

**Ковалевська Олена Сергіївна (Ковалевская Елена Сергеевна, Kovalevska Olena Sergeevna)** – кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології машинобудування ДДМА, м. Краматорськ, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5884-0430>; e-mail: [olenakovalevska@gmail.com](mailto:olenakovalevska@gmail.com)