

С. Мироненко, С. Міранцов, В. Гузенко,
Д. Гузенко, Краматорськ, Україна

ПРОГРАМНО-МАТЕМАТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ

Анотація. В роботі розглянуті питання створення програмно-математичного комплексу (ПМК) для багатокритеріальної оптимізації. Одним з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності процесів механічної обробки є застосування різальних інструментів зі зносостійкими покриттями, які знаходять усе більшого застосування для напівчистої та для чорнової токарної обробки деталей важкого машинобудування.

Для підвищення ефективності токарної обробки на важких токарних верстатах розроблено програмно-математичний комплекс для багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу й технологічної системи важких токарних верстатів. ПМК дозволяє виконувати настроювання значень цільових функцій оптимізації, параметрів створюваних нейронних мереж, генетичного алгоритму. Для виконання задачі багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу механічної обробки в ПМК закладена можливість завдання параметрів інструмента (різальних пластин), з наступним формуванням і нагромадженням бази інструменту, завдання параметрів оброблюваної деталі: завдання матеріалу й зусиль різання. Також для різних параметрів технологічного переходу передбачена можливість сформувати таблицю нормативних параметрів, по якій буде зроблено навчання нейронної мережі.

Ключові слова: важкі токарні верстати; технологічний процес; технологічна система; інструмент; режим різання; багатокритеріальна оптимізація; програмно-математичний комплекс; алгоритм; цільова функція; штучний інтелект; нейронна мережа.

Вступ. Токарна обробка валків прокатних станів характеризується значною питомою часткою часу в загальній трудомісткості виготовлення валків. У зв'язку із цим підвищення ефективності токарної обробки прокатних валків є актуальним і важливим науково-практичним завданням, що постає перед підприємствами-виробниками прокатного устаткування. У ході технічного переоснащення виробництва прокатних валків на провідних підприємствах галузі повною мірою проявляється проблема ефективного інструментального забезпечення токарної обробки. Зокрема, при токарній обробці сталевих прокатних валків усе частіше застосовуються токарні різці із твердосплавними різальними пластинами зі зносостійкими покриттями виробництва провідних світових фірм-виробників інструменту. Особливості технологічного процесу виготовлення прокатних валків найчастіше вимагають використання таких різців не тільки на чистових токарних операціях, але й на операціях напівчистої обробки. У зв'язку із зазначеними причинами вивчення й

наукове обґрунтування можливостей ефективної напівчистої токарної обробки сталевих валків прокатних станів різцями із твердосплавними різальними пластинами зі зносостійкими покриттями різного складу має велике практичне значення для підприємств галузі. При цьому розв'язання проблеми підвищення ефективності напівчистої токарної обробки прокатних валків повинно носити комплексний характер і включати забезпечення високих показників стійкості різців і технологічних характеристик деталей, а також високих показників енергоефективності процесу обробки.

Валки прокатних станів з великими діаметрами бочки валка є характерними деталями важкого машинобудування.

Приклади характеристик деяких сталевих валків прокатних станів виробництва ПАТ НКМЗ (м. Краматорськ, Україна) з великими діаметрами бочки валка наведені в табл. 1 [1].

Таблиця 1 – Характеристики деяких валків прокатних станів виробництва ПАТ НКМЗ (м. Краматорськ) [1]

Габаритні розміри валків (діаметр бочки×довжина бочки×довжина деталі), мм	Маса валків, т	Матеріал валків	Твердість бочки й шийок	Точність валків	Шорсткість поверхні
1600×2700×6700 1500×2500×6300 1400×2000×5500 1200×1200×5000 1100×1500×4800	12–60	Сталь 50, 50ХН, 60ХН, 75Х2МФ, 75ХМФ, 90ХФ, 70Х3ГНМФ та ін.	Бочки й шийок до <i>HB</i> 320; бочки від <i>HSD</i> 60 до <i>HSD</i> 85; шийок від <i>HSD</i> 30 до <i>HSD</i> 55	Биття бочки і шийок від 0,02 мм до 0,005 мм	Від <i>Ra</i> 3,2 мкм до <i>Ra</i> 0,4 мкм

У структурі технологічних процесів виготовлення подібних деталей переважає токарна обробка, яка виконується на важких токарних верстатах, причому близько 70 % часу витрачається на точіння зовнішніх циліндричних поверхонь [2].

Одним з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності процесів механічної обробки є застосування різальних інструментів зі зносостійкими покриттями [3–8], які знаходять усе більшого застосування й для напівчистої, і навіть для чорнової токарної обробки деталей важкого машинобудування, у тому числі прокатних валків з великими діаметрами бочки валка, що вимагає у свою чергу

багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу й параметрів технологічних систем важких токарних верстатів.

Основна частина. Для підвищення ефективності токарної обробки на важких токарних верстатах розроблений програмно-математичний комплекс (ПМК) для багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу й технологічної системи важких токарних верстатів.

В ході аналізу предметної області багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу механічної обробки, із застосуванням методів штучного інтелекту, для розробки ПМК з метою визначення оптимальних режимів різання була визначена доцільність застосування шаблону проектування «Стратегія» (англ. Strategy) [9].

Вибір шаблону «Стратегія» обумовлений потенційною розширюваністю ПМК для визначення оптимальних режимів різання. Завдання розширюваності, яке вирішує даний шаблон, можна визначити як необхідність введення додаткових методів оптимізації в кінцевий програмний продукт.

У рамках предметної області алгоритм оптимізації буде здійснювати роботу безпосередньо з генетичними методами й нейронною мережею [10]. При додаванні нових методів або підходів буде можливість легко додати новий алгоритм виконання оптимізації.

Розроблена на основі шаблону проектування «Стратегія» діаграма класів ПМК для визначення оптимальних режимів різання представлена на рис. 1. Табличний опис представлено в табл. 2.

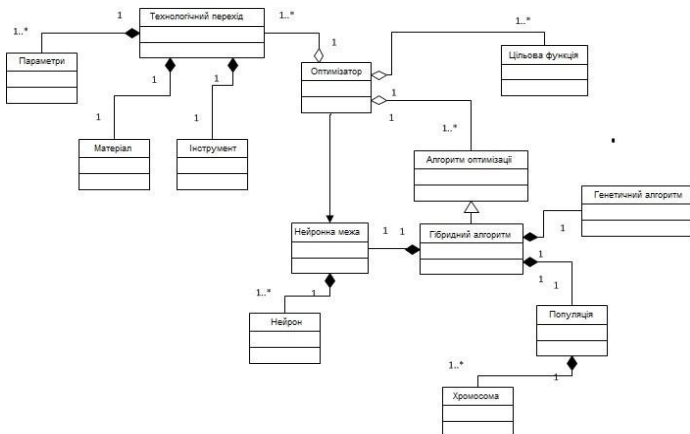


Рисунок 1 – Діаграма класів ПМК для визначення оптимальних режимів різання

Таблиця 2 – Опис діаграми класів для програмного комплексу по оптимізації параметрів технологічного процесу механічної обробки з використанням методів штучного інтелекту

Найменування класу	Обов'язки класу
Оптимізатор	Клас-контролер. Відповідає за виконання послідовності оптимізації й інші функції системи
Цільова функція	Містить цільову функцію, її параметри й методи реалізації
Технологічний перехід	Містить параметри оброблюваної деталі, параметри устаткування, на якому виконується обробка, параметри інструменту
Інструмент	Містить параметри інструменту, яким виконується обробка деталі
Матеріал	Містить параметри матеріалу, з якого виконана оброблювана деталь
Параметри	Містить різні параметри технологічного переходу: глибина різання, довжина оброблюваної поверхні, діаметр оброблюваної поверхні
Алгоритм оптимізації	Абстрактний клас, що реалізує шаблон проектування «Стратегія». Містить алгоритми виконання оптимізації
Гібридний алгоритм	Конкретна реалізація алгоритму оптимізації режимів різання, заснована на взаємодії генетичного алгоритму й нейронної мережі
Нейронна мережа	Виконує фільтрацію хромосом, що поступають, на адекватність. Виконує самонавчання на підставі навчальної вибірки, завантаженої з таблиці параметрів
Нейрон	Складений елемент нейронної мережі. Містить значення вагових коефіцієнтів
Генетичний алгоритм	Виконує створення й перетворення популяцій
Популяція	Клас-контейнер, що містить у собі хромосоми. Використовується для зручної передачі безлічі хромосом між етапами оптимізації
Хромосома	Клас-контейнер, що містить значення генів-параметрів

Для виконання задачі багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу механічної обробки в ПМК закладена можливість визначення параметрів інструменту (ріжучих пластин), з наступним формуванням і наповненням бази інструмента, завдання параметрів оброблюваної деталі: матеріалу й зусиль різання. Також для різних параметрів технологічного переходу передбачена можливість сформувати таблицю нормативних параметрів, по якій буде зроблене навчання

нейронної мережі. Графічний інтерфейс завдання параметрів матеріалу показано на рис. 2.

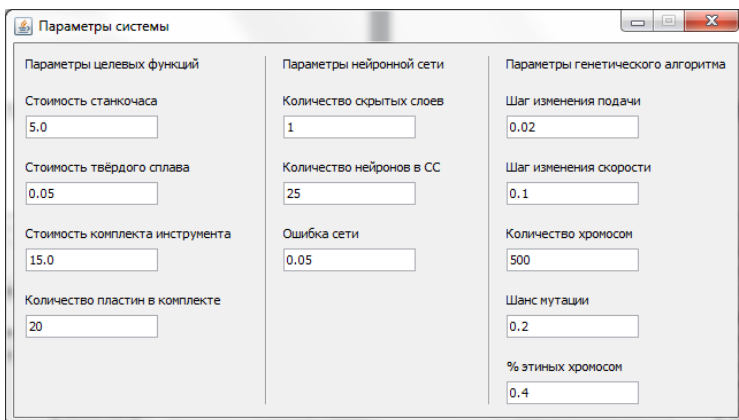


Рисунок 2 – Графічний інтерфейс налаштувань ПМК для багатокритеріальної оптимізації

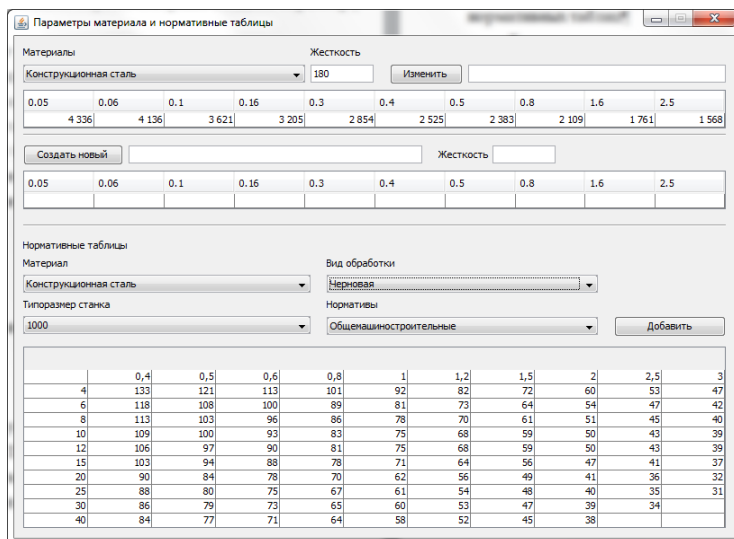


Рисунок 3 – Графічний інтерфейс завдання параметрів матеріалу й нормативних таблиць

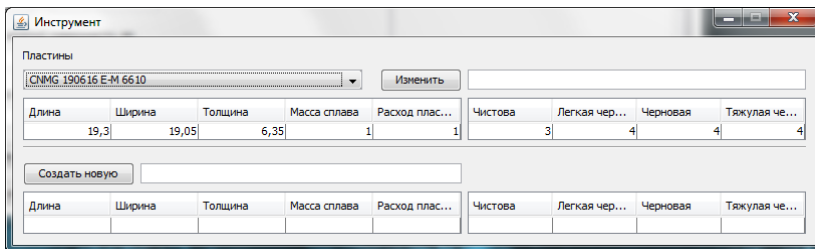


Рисунок 4 – Графічний інтерфейс завдання параметрів пластин

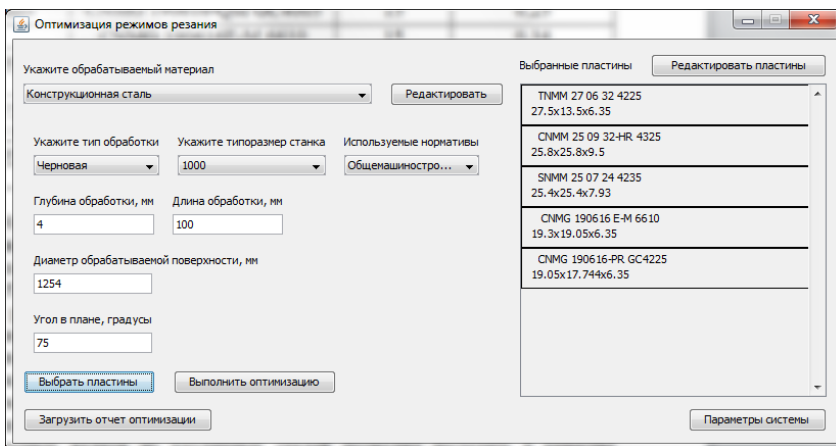


Рисунок 5 – Графічний інтерфейс вікна оптимізації

Для виконання самої задачі оптимізації реалізована можливість завдання параметрів технологічного переходу. Для переходу будуть автоматично обрані найбільш раціональні інструменти з бази.

В якості результату оптимізації надаються графіки, що містять значення цільових функцій оптимізації й інструмент, для якого проводилися розрахунки. Також відображається інформація про оптимальні режими різання, отримані у ході оптимізації. Приклад результату оптимізації представлений на рис. 6.

Використовуючи результати роботи ПМК для автоматизації процесу отримання моделей й багатокритеріальної оптимізації можна робити висновки про подальшу доцільність використання інструменту для виконання механічної обробки. Також результати допомагають визначити технологічні ніші використання інструменту та, можливо, внести

корективи у вже існуючі технологічні процеси механічної обробки.

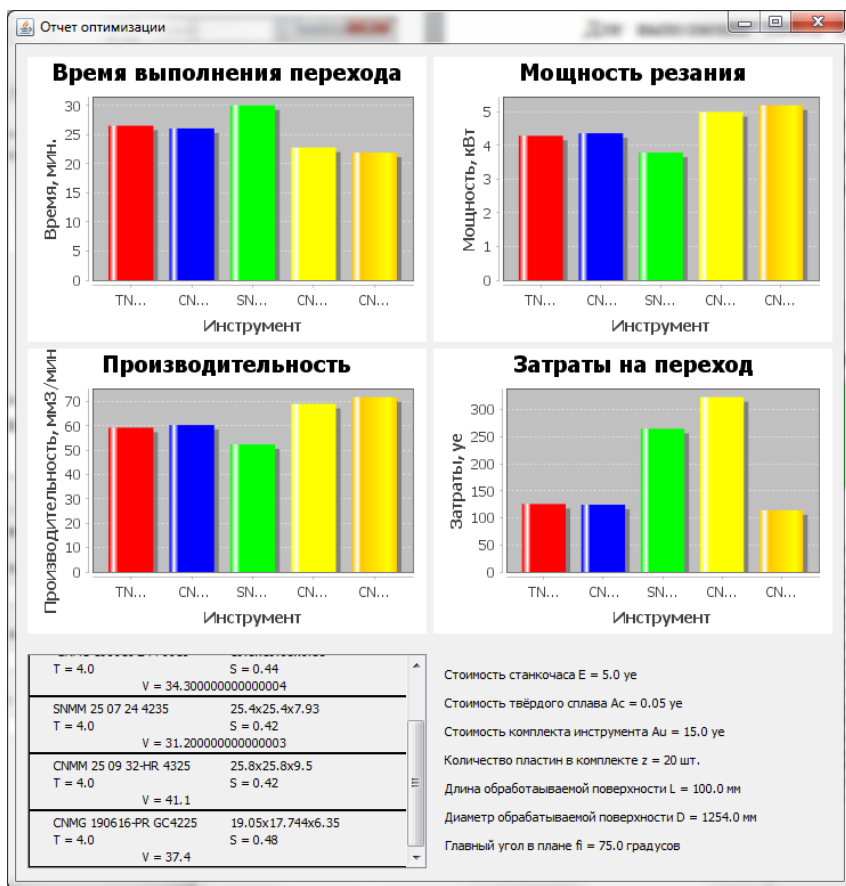


Рисунок 6 – Графічний інтерфейс результатів оптимізації

Результати оптимізації зберігаються у двох форматах:

- формат, що дозволяє повторно переглянути результати проведеної оптимізації безпосередньо в ПМК для автоматизації процесу отримання моделей й багатокритеріальної оптимізації без повторного проведення процесу оптимізації;
- текстовий файл, що містить інформацію про проведену оптимізацію для подальшого парсингу та використання у сторонніх додатках.

Висновки

1. На підставі проведених досліджень систематизовані й проаналізовані результати проведених на базі ПАТ НКМЗ стійкісних випробувань токарних різців із твердосплавними різальними пластинами зі зносостійкими покриттями різних фірм-виробників при напівчистовій обробці валків прокатних станів з великими діаметрами бочки валка з метою подальшого формування комплексу рекомендацій з ефективного використання цих твердих сплавів у зазначеній області.

2. Розроблений програмно-математичний комплекс (ПМК) для автоматизації процесу отримання моделей й багатокритеріальної оптимізації. ПМК дозволяє виконувати настроювання значень цільових функцій оптимізації, параметрів створюваних нейронних мереж, генетичного алгоритму.

3. Для виконання задачі багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу механічної обробки в ПМК закладена можливість завдання параметрів інструменту (різальних пластин), з наступним формуванням і наповненням бази інструмента, завдання параметрів оброблюваної деталі: завдання матеріалу й зусиль різання. Також для різних параметрів технологічного переходу передбачена можливість сформуванню таблицю нормативних параметрів, по якій буде зроблене навчання нейронної мережі.

4. Виконана багатокритеріальна оптимізація параметрів технологічного процесу й параметрів технологічної системи важких токарних верстатів при обробці валків прокатних станів.

References: 1. *Mironenko, E. V.* Obschaya struktura matematicheskoy modeli dlya opredeleniya energoeffektivnykh tehnologicheskikh parametrov tokarnoy obrabotki detaley tyazhelogo mashinostroeniya / E. V. Mironenko, G. P. Klimenko, V. V. Kalinichenko // *Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah* : Mezhdunar. nauch.-tehn. sb. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2015. – Vyip. 85. – pp. 202–210. 2. *Mironenko, E. V.* Nauchnyie osnovyи sozdaniya sistem agregatno-modulnykh instrumentov dlya tyazhelykh tokarnykh stankov : dis. ... d-ra tehn. nauk : 05.03.01. / E. V. Mironenko ; Donbasskaya gos. mashinostroitelnaya akademiya. – Kramatorsk, 2003. – 417 p. 3. *Vereschaka, A. A.* Rezhushchie instrumenty s modifitsiruyuschimi iznosostoykimi kompleksami / A. A. Vereschaka, A. S. Vereschaka, M. I. Sedyih. – M. : MGТУ «Stankin», 2014. – 195 p. – ISBN 978-5-702S-0712-6. 4. *Vereschaka, A. A.* Funktsionalnyie pokryitiya dlya rezhushchikh instrumentov / A. A. Vereschaka // *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. – 2015. – # 4 (48). – pp. 25–39. 5. *Vereschaka, A. S.* Metodologicheskіe printsipy sozdaniya funktsionalnykh pokryitiy dlya rezhushchego instrumenta / A. S. Vereschaka, S. N. Grigorev, V. P. Tabakov // *Uprochnyayushchie tehnologii i pokryitiya*. – 2013. – # 3. – pp. 18–39. 6. *Tabakov, V. P.* Formirovanіe iznosostoykikh ionno-plazmennyykh pokryitiy rezhushchego

instrumenta / V. P. Tabakov. – Moscow : Mashinostroenie, 2008. – 311 p. 8. *Matseviyiy, V. M.* Pokryitiya dlya rezhuschih instrumentov / V. M. Matseviyiy. – H. :Vischashk. Izd-vo pri Khark. un-te, 1987. – 128 p. 7. *Kostyuk, G. I.* Effektivniy rezhuschiy instrument s pokrytiem i uprochnennim sloem : spravochnik / G. I. Kostyuk. – Kyiv. : Antikva, 2003. – 412 p. – ISBN 966-8105-21-4. 8. *Solovjev, V. V.* Primenenie plastin s pokrytiyami pri chernovom tochenii na tyazhelyih tokarnyih stankah / V. V. Solovev, E. V. Mironenko, V. S. Guzenko // Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernyie issledovaniya. – # 3. – 2010. – pp. 54–59. 9. *Shallowey, Alan.* Shablonyi proektirovaniya. Novyyi podhod k ob'ektno-orientirovannomu analizu i proektirovaniyu: Per. s angl. / Alan Shallowey, Dzheym R. Trott – M.: Izdatelskiy dom «Vilyams», 2002. – 288 p. 10. *Saymon Haykin.* Neyronnyie seti: polnyi kurs, 2-e izdanie. – Per. s angl. – M.: Izdatelskiy dom «Vilyams», 2006. – 1104 p.

Yevhenii Myronenko, Serhii Mirantsov, Vitalii Huzenko,
Denys Huzenko, Kramatorsk, Ukraine

SOFTWARE AND MATHEMATICAL COMPLEX FOR MULTICRITERIAL OPTIMIZATION OF TURNING PARAMETERS ON HEAVY MACHINES

Abstract. *The issues of creation of a software-mathematical complex (SMC) for multicriteria optimization are considered in the work. One of the most promising ways to increase the efficiency of machining processes is the use of cutting tools with wear-resistant coatings, which are increasingly applied for semi-finishing and rough turning of heavy machinery parts. Objective: to increase the efficiency of machining processes on heavy lathes due to multi-criteria optimization of the parameters of the rough turning process and the parameters of the technological system. Object of study: the machining processes on heavy lathes for parts such as bodies of revolution weighing up to 20 tons. Subject of study: the relationship between the efficiency of rough turning operations on heavy lathes and the geometric and design parameters of the cutting tool. To increase the efficiency of turning on heavy lathes, a software and mathematical complex for multicriteria optimization of the technological process parameters and technological system of heavy lathes has been developed. SMC allows to adjust the values of the target optimization functions, as well as the parameters of generated neural networks and the genetic algorithm. To perform the task of multicriteria optimization of the parameters of the technological process of machining in SMC there is a possibility of setting the parameters of the tool (cutting plates), followed by formation and accumulation of the tool base and setting the parameters of the workpiece: specification of the material and of the cutting effort. Also for various parameters of technological transition a possibility to form the table of normative parameters is provided, by which training of a neural network will be made.*

Keywords: *heavy lathes, technological process, technological system, tool, cutting mode, multicriteria optimization, software-mathematical complex, algorithm, target function, artificial intelligence, neural network.*