

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Желдака Тімура Анатолійовича

на тему: *«Інтегрована система підтримки прийняття рішень при керуванні виробництвом прокату на основі дворівневих техніко-економічних моделей»*,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Відгук складено на основі вивчення дисертації, реферату, опублікованих здобувачем наукових праць, а також документів, що свідчать про реалізацію та впровадження результатів проведених досліджень.

1. Актуальність обраної теми досліджень

Вітчизняна металургійна промисловість є провідною галуззю економіки України. Навіть зараз в умовах повномасштабної війни вона здійснює вагомий внесок до щорічного внутрішнього валового продукту (ВВП) держави на рівні 15%, а також дає понад 30% від загальних валютних надходжень (дані Укрдержстату щодо соціально економічного розвитку за 2022 р.). Разом з тим для сталого розвитку цієї важливої галузі необхідно постійно поліпшувати її конкурентоспроможність, у т.ч. за рахунок впровадження новітніх технологій, інтенсифікації виробництва, збільшення продуктивності праці та її ефективності за рахунок інтелектуальної комплексної автоматизації, зокрема, на основі вимог стандартів Industry 4.0.

Актуальність теми цього дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності керування складними багаторівневими металургійними виробництвами в умовах зростаючої конкуренції, нестабільності ринків сировини та енергоресурсів, а також посилення вимог до якості продукції. Сучасне виробництво прокату характеризується високою динамічністю технологічних процесів, значною кількістю взаємопов'язаних параметрів і наявністю невизначеностей, що ускладнює прийняття оптимальних управлінських рішень на всіх рівнях.

Традиційні підходи до автоматизації, орієнтовані на локальну оптимізацію окремих ділянок, не забезпечують необхідного рівня узгодженості між технологічними та економічними цілями підприємства. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розроблення інтегрованих систем підтримки прийняття рішень, здатних поєднувати моделі прогнозування, оптимізації та планування в єдиному інформаційно-аналітичному середовищі.

Впровадження багаторівневих техніко-економічних моделей дозволяє враховувати як особливості протікання технологічних процесів, так і економічні критерії ефективності, що забезпечує більш обґрунтоване управління виробництвом. Отже, це дослідження спрямоване на вирішення важливої та актуальної науково-прикладної проблеми, що має суттєве значення для розвитку

автоматизації промислових систем керування та підвищення конкурентоспроможності металургійних підприємств.

Окремої уваги заслуговує розроблений автором адаптивний еволюційний метод оптимізації на основі моделювання штучної імунної системи, що уникає недоліків існуючих реалізацій та використовує адаптивні до задачі оператори мутації, схрещування та стиснення популяції. Застосування розробленого методу як складової інтегрованої системи підтримки прийняття рішень при керуванні металургійним виробництвом дозволяє вирішувати оптимізаційні задачі різної природи на обчислювальних платформах обмеженої потужності.

2. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами

Тема дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з пріоритетними науковими програмами та темами, що виконувались на кафедрі системного аналізу та управління НТУ «Дніпровська політехніка». Дослідження проведено відповідно до плану держбюджетних робіт Міністерства освіти і науки України за період 2008 – 2025 рр.: № 0108U000538 (2008 – 2012 рр.), № 0113U000402 (2013-2014 рр.), № 0113U003913 (2013-2015 рр.), № 0116U006739 (2016-2018 рр.), № 0121U109788 (2021-2022 рр.) та № 0123U100011 (2023-2025 рр.), в яких автор був керівником та співвиконавцем. Ідея роботи полягає в створенні методології побудови інтегрованих багаторівневих систем підтримки прийняття рішень у багатоетапному виробництві сортового прокату із застосуванням комплексу математичних моделей і методів самонавчання та оптимізації виконання замовлень за зведеними економічними критеріями ефективності.

Враховуючи вищезазначене, вважаю, що актуальність теми дисертаційного дослідження є важливою для ефективного розвитку енергетичного сектору України.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та наукова новизна

Наукові положення, що виносяться на захист здобувачем, цілком відбивають отримані наукові результати. Зазначені результати досліджень сформульовані автором так.

1. План виконання замовлень на виготовлення сортового прокату широкого сортаменту синтезується (в рамках вирішення незамкненої задачі комівояжера в максимальній метриці) на основі згортки критеріїв максимізації частки вчасно виконаних замовлень та мінімізації обсягів незавершеного виробництва, часу неробочого стану обладнання та кількості відхилених замовлень, що дозволяє виконувати тижневі та місячні замовлення за мінімальний час.

2. Запропонований гібридний метод оптимізації на базі штучних імунних систем, який використовує адаптивні оператори кросингвера, мутації та стиснення популяції, забезпечує знаходження глобального оптимуму

багатовимірних задач умовної оптимізації з вищою ймовірністю, ніж у відомих еволюційних алгоритмів, що підвищує ефективність розв'язання цих задач у процесах планування та керування у виробництві прокату.

3. Використання в регресійних моделях механічних характеристик сортового прокату від'ємних ступенів предикторів та штрафу на розмірність поліному забезпечує підвищення точності моделі з одночасним зменшенням кількості її параметрів, що дозволяє замінити безпосередні вимірювання статистичними прогнозами та скоротити час і вартість сертифікації готової продукції.

Результати, що покладені в основу трьох наукових положень, досить широко опубліковані автором у періодичних виданнях і обговорені на наукових конференціях. Положення в зазначеному вигляді декларуються вперше.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. *Розроблено математичну модель* побудови плану виконання замовлень на виготовлення прокату широкого сортаменту з урахуванням часу переналаштування обладнання, що передбачає одночасне зважене врахування критеріїв, як незамкненої задачі комівояжера в максимальній метриці. Застосування такої моделі дозволило будувати в реальному масштабі часу плани, ефективніші, ніж отримані за традиційною методикою.

2. *Розроблено математичну модель* мінімізації кількості металу, використаного для виготовлення певного замовлення, що спирається на наперед відомий оптимальний розмір передільної заготовки та вимоги до розкроювання готової продукції. Застосування розробленої моделі в багатоетапному металургійному виробництві дозволяє зменшити витратний коефіцієнт металу та загальний обсяг обрізків.

3. *Розроблено гібридний адаптивний метод* оптимізації на основі моделювання штучних імунних систем, який використовує адаптивні оператори кросинговера, мутації та стиснення популяції та обґрунтовані методи адаптації згаданих операторів. Його застосування для задач планування та керування в багатоетапних металургійних виробництвах дозволяє підвищити надійність та точність отриманих розв'язків.

4. *Розроблено метод* відновлення математичних залежностей прогнозуючих моделей металургійних виробництв від хімічних та фізичних параметрів отримання сталі за рахунок використання в регресійних моделях від'ємних ступенів предикторів та застосування штрафу на розмірність апроксимаційного поліному. Це дозволило підвищити відповідність моделей сутності фізичних процесів та отримати прогностичні моделі оптимальної складності шляхом самоорганізації.

5. *Набув подальшого розвитку* метод прогнозування стійкості футеровки сталеплавильного агрегату за технічними параметрами та статистичними показниками ведення плавки з двоетапною класифікацією поточного процесу на основі навчання. Його застосування дозволило будувати прогнозуючі моделі стійкості футеровки та надавати оператору поради щодо збільшення ресурсу в режимі реального часу.

6. *Сформульовано принцип* роботи системи підтримки прийняття рішень багатоетапного виробництва сортового прокату при вирішенні задач планування та

керування, оснований на паралельній обробці замовлення на різних етапах. Це дозволило підвищити загальну ефективність виробництва за рахунок зменшення витратного коефіцієнту металу, кількості немірної продукції та незавершеного виробництва.

7. *Отримали подальший розвиток* методи навчання рекомендаційних підсистеми оператора конвертерного виробництва, оснований на аналізі попередньої діяльності, що використовують шаблони вдалого попереднього досвіду з корекцією на поведінку людини. Застосування цих методів у процесах рафінації та розкислення сталі дозволило суттєво зменшити вплив «людського фактору» на ведення плавки та скоротити використання феросплавів.

8. *Удосконалено* математичну модель задачі оптимізації конвертерної плавки за зведеним економічним критерієм з урахуванням матеріально-теплого балансу як багатокритеріальної задачі з нечіткими обмеженнями. Застосування отриманої моделі дозволяє підтримувати собівартість сталі на мінімальному рівні при коливаннях цін на матеріали, значній зміні властивостей чавуну або ж при заміні одних охолоджувачів іншими.

Новизна результатів та достовірність дослідження не викликає сумнівів.

4. Оцінка змісту роботи та повнота викладу положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 272 найменувань на 32 сторінках та 2 додатків на 8 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 290 сторінок, серед яких 45 рисунків та 41 таблиця. Вважаю, що характер змісту дисертаційної роботи відповідає її обраній назві.

Дисертаційну роботу викладено логічно, аргументовано та грамотною технічною мовою. Текст роботи супроводжується пояснювальними рисунками та таблицями, що вказує на її цілісність та структурованість. Дисертаційна робота має чітку структуру і побудована на основі структуро-логічної схеми проведення досліджень.

Перший розділ дисертації вирізняється ґрунтовністю та високим рівнем системності при аналізі сучасного стану проблеми автоматизації, оптимізації та моделювання виробничих процесів у виробництві прокату.

Металургійне підприємство розглянуто як складну систему, визначені її вхідні та вихідні потоки, обмеження та засоби підвищення ефективності. Введені критерії ефективності технологічного та економічного рівня. Виконавши декомпозицію виробничого процесу на окремі технологічні операції, було виділено ключові задачі інформаційно-аналітичного супроводу процесів прийняття рішень, визначено тип даних задач та шляхи їх розв'язання в рамках загальної науково-технічної проблеми дослідження. Показано, що більшість закінчених технологічних операцій є замкненими системами керування, у яких завданням є добовий чи змінний план, матеріал (зливки, заготовки, штанги чи незавершені труби) поступають у вигляді зовнішньої змінної, а керуючим впливом є рішення певної особи щодо безпосереднього виконання завдання в умовах, які склалися.

Наведено класифікацію керуючих систем, що застосовуються в металургійному виробництві за рівнем прийняття рішень, а також з'ясовано, що існуючі системи підтримки прийняття рішень у більшості не виходять за рівень автоматизованого керування і використовують технологічні критерії оптимальності рішень. Обґрунтовано висновок про необхідність побудови ряду математичних моделей процесів виготовлення прокатної продукції для розв'язання задач оптимізації цих процесів за запропонованими техніко-економічними критеріями, а також розробки методу розв'язання цих задач. Наголошено ефективність підходу на основі штучних імунних систем до розв'язання багатокритеріальних задач оптимізації в дійсному та двійковому просторах. Показано, що перспективним напрямком подальших досліджень є розробка обчислювального методу на основі моделювання штучної імунної системи з механізмом адаптації до вирішуваної задачі, однаково ефективного для розв'язання багатокритеріальних задач умовної оптимізації у двійковому та дійсному просторах.

Другий розділ дисертації містить розробку та обґрунтування ряду математичних моделей, які описують виконання замовлень на виготовлення сортового прокату металургійним підприємством, а також налаштування окремих його виробничих ділянок на мінімізацію глобального економічного критерію роботи. В якості останнього обрано витратний коефіцієнт металу. Запропоновані в даному розділі математичні моделі є складовими інтегрованої системи підтримки прийняття рішень виробництва прокату та водночас основою систем керування окремими операціями. Їх використання передбачає врахування при прийнятті рішень стосовно окремої технологічної операції тим чи іншим виконавцем всього комплексу операцій технологічного циклу та глобального стану підприємства по відношенню до виконання всієї множини поточних замовлень.

Загалом матеріал розділу демонструє наукову обґрунтованість та прикладну цінність отриманих результатів.

Третій розділ дисертації містить аналіз та синтез математичних моделей задач прогнозування властивостей готової продукції та робочого обладнання. Автор послідовно обґрунтовує застосування в складі керуючої СППР прокатного виробництва математичних моделей оптимізації конвертерної плавки за зведеним економічним критерієм з урахуванням матеріально-теплого балансу, відновлення залежностей керуючих функцій розкислення та стану об'єкта управління від хімічного складу сталі в кисневому конвертері та прогнозування ресурсу футеровки конвертера. Показано, що застосування першої дозволяє підтримувати собівартість сталі на мінімальному рівні при коливаннях цін на матеріали, значних змінах властивостей чавуну або ж при заміні одних охолоджувачів іншими. Підхід відновлення залежностей з використанням в регресійних моделях від'ємних ступенів предикторів та застосуванням штрафної функції на розмірність апроксимаційного поліному дозволив підвищити фізичну відповідність моделей сутності процесів, а також отримувати моделі оптимальної складності шляхом самоорганізації. Двоетапна математична модель, яка за технічними характеристиками футеровки та статистичними показниками ведення плавки забезпечує значимий прогноз щодо залишку терміну роботи поточної футеровки дозволяє суттєво підвищити точність прогнозування.

У четвертому розділі запропоновано гібридний адаптивний імунний алгоритм оптимізації, що на відміну від відомих використовує оператор клональної селекції на основі методу парних порівнянь Сааті, адаптивний ймовірнісний кросинговер, адаптивні оператори мутації та стиснення популяції та обмежений локальний пошук. Застосований в алгоритмі модифікований оператор селекції на основі парних порівнянь пошукових агентів на основі оцінки пристосованості рішень є математично обґрунтованим та відрізняється застосуванням різниці значень пристосованості замість відношення, як в аналогах. Запропонований адаптивний оператор кросинговеру для клітин-клонів на відміну від відомих забезпечує не лише диверсифікацію пошуку, а і його інтенсифікацію за рахунок параметрів ймовірності застосування для кожної з координат та показника ступеня несхожості нащадків на батьків. Адаптивний оператор мутації, що застосовує при розв'язанні задач у безперервному просторі нормальний або поліноміальний закони розподілу ймовірностей відхилення, відрізняється від відомих тим, що діапазон «вузької» мутації, яка є основним інструментом інтенсифікації пошуку глобального оптимуму, залежить від номеру ітерації та відносній пристосованості рішення в усій популяції. Адаптація оператора мутації для двійкового простору полягає в залежності рівня мутації від номера покоління та відносній пристосованості особини в поколінні. Адаптивний оператор стиснення популяції, на відміну від відомих, має радіус подібності, що зв'язаний з радіусом так званої «вузької» мутації відповідного оператора, а також встановлюється пропорційним кореню відношення мірності простору до подвоєного номера ітерації та обернено пропорційним кількості особин популяції.

П'ятий розділ висвітлює результати синтезу структури та функцій інтегрованої системи підтримки прийняття рішень для керування виробництвом сортового прокату з конвертерним способом виготовлення сталі, яка містить сім окремих програмних модулів та шість баз даних. Всі обчислювальні, оптимізаційні та рекомендаційні процеси відбуваються в окремих модулях СППР. Розроблено методику та схему взаємодії модулів та баз даних підприємства, сформульовані вхідна та вихідна інформація для кожного з модулів. Запропонована методика взаємодії інтегрованої системи підтримки прийняття рішень з виробничими системами основана на принципі паралельної обробки замовлення підприємством на різних етапах багатоетапного виробництва. Для формування рекомендації оператору при виконанні замовлень автором запропоновані системи самонавчання, що використовують попередній досвід ведення виробничого процесу з оцінкою дій оператора з побудовою шаблону поведінки за найбільш вдалим попередніми діями – для процесу рафінації та без побудови шаблону на основі наївної мережі Байєса – для процесу розкислення.

Шостий розділ є логічним завершенням роботи, в якому проведено всебічне дослідження запропонованих моделей, методів та підходів при розв'язанні реальних задач виробництва. Практична перевірка викладеного підходу до побудови апроксимуючої функції з використанням від'ємних степенів у поліномах апроксимаційної функції показала, що його застосування дозволяє у 2–3 рази

зменшити кількість коефіцієнтів, що відновлюються, при цьому середньоквадратична помилка апроксимації зменшується у 1,5–2,5 рази. Експериментально доведено, що запропонований гібридний адаптивний метод на основі моделювання штучної імунної системи знаходить найкраще рішення з помилкою до 1,7% на широкому колі реальних задач з ймовірністю більше 0,885. Повторюваність кращого рішення в запропонованого алгоритму в 9 з 11 випадків вища ніж в інших еволюційних алгоритмів. Мінімальний відсоток відтворення точного рішення для комбінаторних задач становить 94%, а для дійсного простору – 54%. У ході експериментальної перевірки автором доведено, що запропонована модель розподілу металу по виливницях, застосована в складі інтегрованої СППР у процесах керування прокатним виробництвом, дозволяє використовувати меншу кількість металу на виконання добового замовлення за рахунок керування висотою розливу зливків, а також виконувати добове замовлення на готову продукцію з середнім перевищенням 1,8%. Додаткові дослідження показали, що зі зростанням розміру замовлення на однотипну продукцію зростає ефект економії металу на виконання поточного замовлення. Це дозволяє виконувати замовлення на прокатну продукцію точно, не створюючи виробничих запасів і незавершеного виробництва. У ході експериментальної перевірки впровадження моделі та методу прогнозування стійкості футеровки та підсистеми рекомендацій автором показано, що, коли футеровка вже відпрацювала половину свого терміну експлуатації, прогнозне значення її стійкості з врахуванням порад не відрізняється більше ніж на 5% від фактичного. Останнє дозволяє з точністю 3-5% запланувати час зупинки конвертера на заміну футеровки ще на половині прогнозованого часу її експлуатації.

Дисертація викладена грамотною технічною мовою і відповідає вимогам МОН щодо оформлення. Автор коректно застосовує наукову термінологію.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 52 наукові праці, у тому числі: 4 статті в журналах, що індексуються наукометричними базами даних Scopus і Web of Science Core Collection, 19 статей в українських та міжнародних фахових виданнях, 1 публікація в матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються наукометричними базами даних Scopus і WoS; 26 тез доповідей у матеріалах всеукраїнських і міжнародних конференцій. Участь у міжнародних та всеукраїнських конференціях свідчить про ознайомлення наукової спільноти з отриманими результатами.

5. Значення роботи для науки, практики та суспільства

Наукове значення роботи полягає в створенні методології автоматизації процесів керування виробництвом сортового прокату шляхом використання зведених економічних критеріїв ефективності виконання замовлень на виготовлення готової продукції замість технологічних, побудови математичних моделей виконання замовлень, а також застосування методів самонавчання для генерації альтернатив у процесах прийняття рішень при плануванні та керуванні такими виробництвами, що дозволило підвищити загальну ефективність виробництва за рахунок зменшення витратного коефіцієнту металу, кількості немірної продукції та незавершеного виробництва.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Можливість врахування карт розкроювання в двох переділах та припустимість паралельного виконання кількох замовлень дозволяють зменшити витратний коефіцієнт металу, що є головним техніко-економічним показником ефективності виробництва прокату.

2. Розв'язання задачі оптимізації шихти дозволяє підтримувати собівартість сталі на мінімальному рівні при коливаннях цін на матеріали, значній зміні властивостей чавуну або ж при заміні одних охолоджувачів іншими.

3. Застосування викладеного підходу до синтезу і мінімізації моделей регресійних залежностей дозволило побудувати та використати у складі загальної інтегрованої СППР керування виробництвом прокату математичні моделі оптимальної складності для прогнозування механічних характеристик готової продукції та потреби у феросплавах.

4. Математична модель прогнозування терміну експлуатації футеровки конвертера використовується в якості складової автоматизованої інтелектуальної СППР металургійного виробництва, сповіщаючи оператора конвертерного цеху про ресурс поточної футеровки, а також надаючи поради щодо методів ведення плавки, які дозволяють збільшити її ресурс.

5. Отриманий метод розв'язання багатовимірних задач глобальної оптимізації застосовується для вирішення завдань планування, керування та контролю в металургійному виробництві. Запропоновані параметри операторів алгоритму дозволяють скоротити час оптимізації в 2-4 рази без втрати точності, що робить викладений алгоритм ефективним для вирішення оптимізаційних задач на обчислювальних платформах обмеженої потужності.

6. Запропонована структура автоматизованої СППР для керування виробництвом прокату з конвертерним способом виготовлення сталі, яка містить сім програмних модулів у відповідності до технологічних процесів. Розроблено алгоритм та схему взаємодії модулів та баз даних підприємства, сформульовані вхідна та вихідна інформація для всіх модулів, кожен з яких передбачає розв'язання певної оптимізаційної задачі.

7. Результати дослідження використано у навчальному процесі шляхом видання навчального посібника та семи матеріалів методичного забезпечення.

Робота автора орієнтована на реальні підприємства ТОВ «Інтерпайп Україна», АТ «Нікопольський завод феросплавів», ТОВ «Інтерпайп Ніко Тьюб», ІП «Сайткор Україна», ТОВ «Ялантіс Україна», які надали відповідні довідки про впровадження результатів. Це підкреслює практичне значення роботи.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Порушень принципів академічної доброчесності в роботі не виявлено.

7. Дискусійні положення та зауваження

1. При описі актуальності роботи у вступі дисертації та реферату, а також при декларації наукових положень автором не наводяться найбільш важливі чисельні показники, які засвідчують важливість отриманих результатів. Те саме стосується більшості висновків.

2. Недостатньо детально розглянуто інтеграцію запропонованої СППР із нижнім рівнем АСУ ТП (PLC/SCADA), зокрема, часові параметри цієї взаємодії та інтерфейси.

3. Автором у розділі 3 розглядається задача «ідентифікації» (структурної, параметричної) математичних моделей типу (3.13), (3.17), (3.20) тощо, які за фактом не є динамічними (змінна часу відсутня, тому це нестала термінологія).

4. Потребує уточнення питання реального часу та часових обмежень алгоритмів. У роботі автор наголошує, що ряд задач вирішується «в реальному масштабі часу» без конкретизації цього масштабу (інтервалу дискретизації).

5. Потребує глибшого розгляду механізм синхронізації даних, зокрема, про обробку одного замовлення на різних етапах або на різних технологічних ділянках.

6. Не вистачає схеми інформаційних потоків між рівнями керування відповідно до стандарту МЕК-1131. Чи отримує запропонована автором СППР сигнали від систем нижчого рівня або лише формує для них керуючий вплив?

7. Відсутній аналіз сумісності запропонованого програмного забезпечення з існуючими промисловими протоколами (наприклад, Modbus, Profibus, CAN тощо).

8. Потребує розширення опис інтерфейсу оператора. Окремі елементи, наведені в роботі, показують вікна для введення обмеженої інформації та отримання рекомендацій у форматі вказівки до виконання. Варто було конкретизувати, чи передбачено отримання пояснень для таких вказівок?

9. У дисертації та рефераті автор не завжди зазначає одиниці вимірювання для формул та малюнків, що подекуди ускладнює сприйняття інформації.

10. Список використаних джерел містить навчальні посібники [55, 158, 166, 221 тощо]. Це не рекомендується для дисертацій.

Перелічені зауваження та/або дискусійні моменти не мають принципового характеру і не впливають на наукові положення та загальні висновки щодо роботи.

8. Висновок про відповідність спеціальності

Результати дисертації відповідають наступним напрямам досліджень, що передбачені в паспорті спеціальності 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»:

- формалізація завдань керування складними організаційно-технічними об'єктами та комплексами, розроблення критеріїв оцінювання якості їхнього функціонування (пп.2);

- моделювання об'єктів та систем керування (статичні та динамічні, стохастичні та імітаційні, логіко-динамічні тощо моделі, пп.3);

- системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності при керуванні організаційно-технічними об'єктами і комплексами різного призначення (пп.7);

- розробка методів моделювання і планування, математичного, алгоритмічного і програмного забезпечення задач аналізу/синтезу складних розподілених у просторі гнучких інтегрованих систем, що відрізняються фізичними принципами реалізації, конструктивною та технологічною базами виконання, складом функціональних засобів і устаткування, технічним призначенням і методами керування на різних рівнях ієрархічної структури (пп.8).

9. Загальний висновок щодо дисертаційної роботи

Отримані автором результати дисертаційного дослідження є достовірними та повністю узгоджуються з формулою та напрямками досліджень спеціальності 05.13.07 – Автоматизація процесів керування (пп. 2, 3, 7, 8 відповідно до паспорту). Дисертаційна робота написана грамотною технічною мовою і логічно побудована. Отримані в ході досліджень наукові результати є новими і оригінальними. Робота містить наукові положення, що характеризуються достатнім рівнем обґрунтованості та достовірності, науковою новизною та значимістю і є практично корисною для ефективного виконання замовлень на виготовлення сортового прокату.

Вважаю, що дисертаційна робота Желдака Тімура Анатолійовича «Інтегрована система підтримки прийняття рішень при керуванні виробництвом прокату на основі дворівневих техніко-економічних моделей», представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 - «Автоматизація процесів керування» відповідає всім вимогам, передбаченим постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1197 «Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів», затверджену «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», а також наказу Міністерства освіти і науки України від 23.09.2019 року № 1220 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», зареєстрованого у Міністерстві юстиції України 8.10.2019 р. за № 1086/34057.

Отже, автор дослідження, Желдак Тімур Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування.

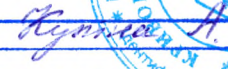
Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри комп'ютерних
систем та мереж Криворізького
національного університету



Андрій КУПЧ

Відгук отримано
Вз. секр. 208.030.07
Публиков А.В.
01.04.2026р.



Підпис	
ЗАСВІДЧУЮ:	
Учений секретар	
Криворізького національного університету	
	
« 30 »	03 2026 р.