Голові разової спеціалізованої вченої ради

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

доктору технічних наук, професору
Морозу Борису Івановичу

**ВІДГУК ОПОНЕНТА**

**доктора технічних наук, професора Собчука Валентина Володимировича**

на дисертаційну роботу **Зіборова Іллі Кириловича**

«Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в складних виробничих процесах на основі еволюційного методу»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 – Комп’ютерні науки,

галузі знань 12 – Інформаційні технології

1. **Загальна характеристика роботи**

Повний обсяг роботи складає 177 сторінок, з яких 162 сторінки – основний текст. Робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, список використаних джерел налічує 161 найменування.

До розгляду подано дисертацію на здобуття ступеня доктора філософії та копії усіх опублікованих автором робіт, які відображають результати та зміст дослідження.

1. **Оцінка актуальності теми дисертації**

У дисертації запропоновано новий підхід до вирішення актуальної науково-практичної задачі в галузі комп'ютерних наук – створення інформаційної технології підтримки прийняття рішень для ефективного планування та керування складними виробничими процесами за допомогою еволюційного методу. Автор розробив інформаційну технологію підтримки прийняття рішень на основі гібридного еволюційного методу оптимізації, що використовує модульний підхід. Кожен модуль системи відповідає за вирішення окремих оптимізаційних задач, пов'язаних із конкретними виробничими процесами, і включає організацію інтерфейсу вводу-виводу даних.

Актуальність розв'язання задачі, висвітленої в дисертаційній роботі, обумовлена значними економічними витратами вітчизняних підприємств в умовах гострої конкуренції на світових ринках, складних виробничих процесів, обяжених ситуацією, що спричинена військовим станом і ослабленням потужностей. Автор показав, що прийняття рішень на всіх виробничих ділянках відбувається в умовах значної невизначеності, часто за браком часу та неповної інформації. Це зумовлено низкою випадковостей, які неможливо передбачити, включаючи природні та технічні збурення, а також «людський фактор». Наявні інформаційні технології планування та керування, зокрема у металургійному виробництві, обмежуються автоматизованим керуванням і використовують технологічні критерії прийняття рішень, не враховуючи економічні аспекти.

Автор провів детальний контекстний аналіз аби висвітлити релевантність мети та вирішуваних у роботі задач, а саме: 1) проблеми інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішень у складних виробничих процесах в домені металургійного виробництва; 2) наявних інформаційних технологій супроводу та підтримки рішень у складних виробничих процесах; 3) існуючих методів умовної та безумовної оптимізації у дійсному та двійковому просторі. В дисертації якісно опрацьований існуючий науковий фундамент сучасників міжнародного масштабу.

1. **Оцінка наукових результатів дисертації**

В ході виконання поставлених завдань дисертаційного дослідження були отримані наукові результати, новизна яких полягає у наступному:

1) вперше запропоновано гібридний метод умовної оптимізації на основі рою часток та штучної імунної системи, який передбачає поділ популяції на групи, міжгрупове змагання та стиснення популяції, а також механізм адаптації оператора стиснення. Застосування методу в складі інформаційної технології підтримки прийняття рішень дозволяє скоротити час та підвищити якість цих рішень.

2) вперше запропоновано модульну інформаційну технологію прийняття рішень в задачах планування та керування складними виробничими процесами, в якій кожен модуль передбачає розв’язання певної оптимізаційної задачі гібридним еволюційним методом. Її застосування дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень в процесах шихтування та розкислення сталі, а також сертифікації готової продукції з неї.

3) удосконалено метод статистичної сертифікації металевого прокату, на основі відновлення індивідуальних для кожного найменування продукції моделей оптимальної складності, що на відміну від існуючих використовує обмеження на ступені предикторів, які можуть приймати від’ємні значення. Удосконалений метод дозволяє сертифікувати продукцію без прямих вимірювань з відносною помилкою не вище 5%.

4) планування потреби у розкислювачах на основі хімічного аналізу сталі при розливці, що на відміну від існуючих передбачає відновлення прогностичних моделей розробленим гібридним еволюційним методом. Це дозволяє будувати для кожної марки сталі індивідуальні моделі прогнозування, що мають відносну помилку не вище 8,5% і для отримання яких потрібно на порядок менше навчальних прикладів у навчальний вибірці.

1. **Оцінка практичного значення результатів роботи**

Принципи, технології та методи, які були отримані в ході дослідження, були втілені на практиці у вигляді окремих програмних модулів інтегрованої системи підтримки прийняття рішень. Сформовані модулі можуть застосовуватись для супроводу прийняття рішень в управлінні технологічними процесами у домені сортопрокатного металургійного виробництва.

Представлена дисертаційна робота виконувалась в рамках наукової тематики кафедри та університету. Зокрема, вона була частиною науково-дослідних робіт: «Задачі моделювання, оптимізації та прийняття рішень в складних системах різної природи» (№ державної реєстрації 0121U109788) та «Задачі аналізу, моделювання та оптимізації технологічних процесів у складних системах різної природи» (№ державної реєстрації 0123U100011), де автор був одним з виконавців.

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень, а також еволюційний метод оптимізації виробничих функції були реалізовані у вигляді програмного забезпечення і впроваджені в діяльність ТОВ «Інтерпайп-Україна» (м. Дніпро) та ТОВ «Метінвест Січсталь» (м. Запоріжжя).

Науковий доробок здобувача був використаний в навчальному процесі на факультеті інформаційних технологій НТУ «Дніпровська політехніка» студентів спеціальностей «124 Системний аналіз» та 122 «Комп’ютерні науки».

Всі результати впровадження підтверджені відповідними актами.

1. **Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень і висновків дисертації**

Наукові положення, висновки та пропозиції достатньо обґрунтовані результатами експериментів на відомих тестових функціях. При розв’язанні практичних задач металургійного виробництва наведено порівняння ефективності отриманих результатів з вже існуючими та документованими технологіями та методами.

Нові наукові результати та положення описані та опубліковані у 5 статтях у спеціалізованих виданнях України, в одній міжнародній конференції, що індексується в наукометричній базі Scopus, а також у 6 апробаційних роботах. Висвітлення та апробація отриманих результатів дослідження відбувалось в рамках українських та міжнародних конференціях. Відповідність вимогам для здобуття наукового ступеня доктора філософії за кількістю публікацій, їх повноти та обсягу повністю витримана.

1. **Оцінка змісту й оформлення дисертації**

Дисертаційна робота написана українською мовою. В роботі використаний науковий стиль та загальноприйнята термінологія. Робота виконана в чіткій логічній послідовності відповідно до поставлених мети та задач досліджень.

У дисертаційній роботі вирішено актуальна задача ефективного планування та керування складними виробничими процесами на прикладі металургійного виробництва шляхом розробки інформаційної технології підтримки прийняття рішень на основі гібридного еволюційного методу оптимізації.

Постановка науково-прикладної задачі, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота, є коректною. В роботі розглянуто окремі складові задачі, а саме: розробки гібридного еволюційного методу оптимізації, розробки інформаційної технології підтримки прийняття рішень в складних виробничих процесах та удосконалення методів прогнозування потреби у феросплавах та механічних властивостей готової продукції.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету дослідження та задачі, вирішення яких сприятиме досягненню мети роботи, окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено інформацію про публікації та апробацію результатів досліджень.

У першому розділі аналізується проблема інформаційно-аналітичного супроводу процесів прийняття рішень складних виробничих процесах на прикладі металургійного виробництва. Наведені аргументи актуальності створення інформаційної технології для підтримки прийняття рішень у процесах шихтування, розкислення та прогнозування механічних властивостей готової продукції. Висвітлено потребу у вирішенні ряду оптимізаційних задач, які містять значну кількість обмежень та можуть ідентифікуватись як багатокритеріальні. Підкреслено ефективність еволюційного підходу до розв’язання багатокритеріальних задач оптимізації у дійсному просторі, а саме методів на основі принципу рою часток та моделювання штучних імунних систем.

В другому розділі розроблено гібридний метод умовної оптимізації, який заснований на підходах рою часток та штучної імунної системи, а також передбачає поділ популяції на групи з індивідуальною змінною чисельністю агентів, міжгрупове змагання та стиснення популяції з метою протидії збіжності. В ході дослідження на широкому колі тестових задач встановлені обмеження на значення параметрів алгоритму метода, зокрема на коефіцієнти при складових швидкості, кількість груп, на які розділяється рій, кількість поразок певної групи рою, після якої дана група розпускається, загальний розмір рою, періодичність міжгрупового стиснення та періодичність внутрішньогрупового стиснення. Показано, як ці параметри залежать від розмірності задачі.

В третьому розділі запропоновано інформаційну технологію підтримки прийняття рішень в складних виробничих процесах на основі гібридного еволюційного методу. Ця технологія передбачає модульний підхід, де кожен модуль виконує розв’язання певної оптимізаційної задачі, що відноситься до конкретного виробничого процесу. Визначено структуру та функції інформаційної технології, потоки вхідної та вихідної інформації, порядок обробки та збереження даних. Здійснено реалізацію інформаційної технології підтримки прийняття рішень для виробничих процесів шихтування сталі, її розкислювання та прогнозування механічних властивостей готової продукції.

В четвертому розділі проведено експериментальні дослідження запропонованого методу оптимізації та інформаційної технології, що його використовує. Експерименти виконувались як на відомих тестових задачах, так і на практичних задачах прогнозування і керування в металургійному виробництві. Показано, що на широкому колі тестових задач запропонований метод є швидким, надійним та стійким до зростання розмірності задачі. В ході тестування на реальних виробничих задачах запропонований метод також показав має високу точність і повторюваність результатів. Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в складних виробничих процесах перевірена експериментально на прикладі металургійного виробництва. Її застосування дозволило прогнозувати потребу у основних розкислювачах з відносною помилкою не вище 8,5%, використовуючи для цього індивідуальні прогностичні моделі оптимальної складності, для отримання яких потрібно на порядок менше навчальних прикладів у навчальний вибірці. Автором запропонована інформаційна технологія, яка дозволяє прогнозувати механічні властивості готових виробів без виконання прямих випробувань з відносною помилкою, що не перевищує 5%.

1. **Зауваження до дисертаційної роботи**
2. .В дисертації автором детально описано особливості металургійної технології в частині підготовки та супроводу плавок сталі. Використовуються, як модельні значення, статистичні показники для сталей Ст3пс, Ст5 пс, 09Г2С, 20Х та Ст45. Показано, що найефективніше запропонована технологія працює для рядових сталей і демонструє прийнятні значення для конструктивних марок сталі. При цьому наведені в роботі ціни на складові шихти є актуальними на 2021 рік. Варто зазначити, що на практиці зручно використовувати структуру собівартості сталі, виразивши ціни на складові шихти через приведені вартості до ринкових котувань залізної руди або ж квадратної заготовки. На практиці це дозволить спростити роботу над актуалізацією поточних цін на сталь в динаміці змін поточної ринкової кон’юнктури та дозволить прогнозувати потенційну рентабельність в реальному часі.
3. У другому розділі автором запропоновано гібридний еволюційний метод оптимізації на основі моделювання штучної імунної системи та рою часток. Проте не описано який саме з з ройових алгоритмів варто використовувати, тобто чи це алгоритм бджолиної сім’ї, чи алгоритм мурашиної колонії, чи алгоритм пошуку зграєю вовків тощо. Було б цікаво побачити порівняльний аналіз ефективності застосування різних алгоритмів, які використовують «ройовий інтелект», що можливо могло б отримати повнішу картину роботи запропонованого методу.
4. Автором в третьому розділі описано принципи роботи модуля «Шихтування» та наведено модельні приклади його роботи. Даний модуль судячи з описаного функціоналу може бути інтегрованим на рівні MES-системи конвертерного цеху. З точки зору практичного застосування варто було б передбачити інтеграцію такого модуля в ІACУ всього підприємства.
5. В роботі є описки та іноді невдале застосування формульного редактора MS Word. Наприклад у формулі (1.7) у авторській редакції міститься елемент $x\_{p}^{}$, коректний запис якого має мати такий вигляд: $x\_{p}^{ }$. Аналогічні описки в індексах є формулах (2,3), (2,6), (2,11), (2,12), (2,14) та інших. Автором в дисертаційній роботі використовується термін «математичне очікування», хоча загальноприйнятим в науковому ком’юніті є термін «математичне сподівання».

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

1. **Висновок про дисертаційну роботу**

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, ознайомившись із науковими публікаціями та дисертацією І.К. Зіборова, відзначаю відсутність порушень академічної доброчесності.

Вважаю, що дисертація Зіборова Іллі Кириловича на тему «Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в складних виробничих процесах на основі еволюційного методу» подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп’ютерні науки» є завершеним науковим дослідженням, яке вирішує актуальну задачу створення інформаційної технології підтримки прийняття рішень для ефективного планування та керування складними виробничими процесами на основі еволюційного методу. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені наказом МОН України №40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

Здобувач Зіборов Ілля Кирилович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп’ютерні науки».

**Опонент:**доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інтегральних

та диференціальних рівнянь

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка Валентин СОБЧУК