**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**
**ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ**

**ГРИБКОВ СЕРГІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ**

УДК 004.9:004.2:65.012.2:664

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ЕВРИСТИЧНИХ І ЕВОЛЮЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант** доктор технічних наук, професор
**Литвинов Валерій Андроникович,**
Інститут проблем математичних машин і систем НАН України,
провідний науковий співробітник

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор
**Казимир Володимир Вікторович,**
Національний університет «Чернігівська політехніка» МОН України,
професор кафедри інформаційних та комп'ютерних систем

доктор технічних наук, професор
**Бондарчук Андрій Петрович**,
Державний університет телекомунікацій МОН України,
директор Навчально-наукового інституту інформаційних технологій

доктор технічних наук, професор
**Прокопенко Тетяна Олександрівна,**
Черкаський державний технологічний університет МОН України,
завідувач кафедри інформаційних технологій проєктування

Захист відбудеться «12» травня 2021 року о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.204.01 в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: 03187, м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 42.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: 03187, м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 42.

Автореферат розісланий « 8 » квітня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради _____ М.Г. Ієвлєв

# ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Харчова промисловість є однією із стратегічних галузей у будь-якій країні, адже вона забезпечує її продовольчу незалежність. Ринок харчової промисловості характеризується дуже високою конкуренцією, зокрема, між вітчизняними та зарубіжними виробниками. В умовах жорсткої конкуренції перед підприємствами харчової галузі, які намагаються працювати за довгостроковими договорами, гостро стоїть задача збереження споживача, що можливо тільки за рахунок виготовлення якісної продукції за прийнятною ціною та надання послуг за короткий термін. Для цього необхідно забезпечити закупку та зберігання сировини, яка має обмежені терміни використання, виготовити продукцію з дотриманням усіх необхідних технологічних вимог, забезпечити зберігання виготовленої продукції. В цих умовах управління підприємством повинно забезпечувати гнучке та швидко реагуюче виробництво з максимальним урахуванням зовнішніх та внутрішніх факторів і обмежень при плануванні виготовлення продукції і прийнятті оперативних рішень.

Вагомий внесок у розвиток та вдосконалення алгоритмізації процесів прийняття рішень та управління виробництвом зробили вітчизняні та зарубіжні вчені, зокрема: Сергієнко І. В., Ладанюк А. П., Павлов О. А., Згуровський М. З., Зайченко Ю.П., Мельников О. В., Мисюра Е. Б., Щербатенко О. В., Конвей Р. В., Максвелл В. Л., Міллер Л. В., Domschke W., Scholl A., Vob S., Pinedo M. L та багато інших.

Більшість технологічних і виробничих процесів у харчовій промисловості складно описувати кількісно, що у сукупності з багатокритеріальністю задач планування і управління ускладнює використання традиційних детермінованих математичних методів для прийняття відповідних рішень. Це викликає необхідність застосування нових інтелектуальних методів для вирішення задач управління з урахуванням оперативної інформації від фахівців-експертів відносно надання якихось переваг альтернативам у процесі вибору рішень.

Застосуванням відповідних евристичних та еволюційних методів для вирішення багатокритеріальних оптимізаційних задач займалися Dorigo M., Лагунова А. Д., Mirjalili S., Lewis A., Сагун А. В., Хайдуров В. В., Кунченко-Харченко В. И., Stutzle Th., Hoos H. H., Khan L., Ullah I., Saeed T., Filho B., Neto L., Holland J. H., Кажаров А. А., Курейчик В. М., Karaboga D., Yang X. S., Wang G., Guo L., Штовба С. Д., Сперкач М. О., Желдак Т. А. та ін. Більшість авторів у своїх роботах зазначає переваги і порівняльну ефективність застосування евристичних і еволюційних методів для розв’язання багатокритеріальних задач.

Опубліковані результати в цій сфері носять більшою частиною загальний характер і не прив’язані до оптимізації процесів прийняття рішень, пов’язаних з особливостями управління саме об’єктами харчової промисловості.

Важливо відзначити, що галузева проблема підвищення ефективності управління харчовими підприємствами вимагає комплексного рішення, що в

сукупності має включати проблемно-орієнтовані моделі, методи і алгоритми, управлінські технології і відповідне інформаційно-програмне забезпечення.

Отже, актуальною науково-прикладною проблемою є розробка і реалізація інформаційних технологій прийняття рішень при управлінні харчовим підприємством на основі модифікованих евристичних і еволюційних методів та алгоритмів із метою забезпечення скорочення часу на прийняття рішень, зменшення впливу людського фактора та зниження витрат і часу на виконання замовлень щодо виготовлення продукції харчовим підприємством.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** У Національному університеті харчових технологій відповідно до державних програм і планів НДР: НДР «Наукове обґрунтування та розроблення активних пакувальних систем харчових продуктів» (Проблемна науково-дослідна лабораторія НУХТ, № ДР 0118U003558, 2019 р.); НДР «Дослідження та впровадження інформаційних технологій у галузях харчової промисловості та освіті» (кафедра інформаційних систем, № ДР 0117U003475, 2017–2022 рр.); НДР «Математичні методи аналізу комп'ютеризованих систем» (Національний університет харчових технологій, кафедра інформатики, № ДР 0117U003477, 2017–2020 рр.); НДР «Дослідження та використання сучасних інформаційних технологій для виконання функцій та завдань виробничого і організаційного управління підприємств харчової галузі» (Національний університет харчових технологій, кафедра інформатики, № ДР 0120U105386, 2020–2025 рр.). Робота виконувалась згідно із планом науково-дослідних робіт кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій «Розроблення нових інформаційних технологій прийняття рішень у виробництві та освітній діяльності» 2011–2015 рр.; «Інформаційні технології прогнозування погоди для сільського господарства», 2017 р.; «Дослідження та впровадження інформаційних технологій у галузях харчової промисловості та освіті» протягом 2015–2020 рр.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесів управління харчовим підприємством шляхом розробки інформаційних технологій підтримки прийняття рішень на основі модифікованих евристичних і еволюційних методів та алгоритмів.

Для досягнення мети вирішувалися такі основні завдання:

– провести аналіз існуючих підходів, методів та інформаційних технологій для управління харчовим підприємством;

– здійснити математичне моделювання задачі планування виконання замовлень з урахуванням зовнішніх та внутрішніх впливів;

– розробити модифіковані методи та алгоритми для вирішення задачі управління харчовим підприємством;

– розробити інформаційні технології на основі модифікованих евристичних і еволюційних методів та алгоритмів для здійснення гнучкого управління харчовим виробництвом;

– розробити архітектуру гібридної web-орієнтованої системи підтримки прийняття управлінських рішень на основі модифікованих евристичних і еволюційних методів та алгоритмів;

– розробити методичні рекомендації щодо практичної реалізації web-орієнтованої системи підтримки прийняття управлінських рішень;

– здійснити апробацію створеної інформаційної технології у промислових умовах на діючих підприємствах, обраних як базові.

*Об'єктом дослідження* є процеси прийняття рішень при управлінні харчовим підприємством в умовах невизначеності та ризиків.

*Предметом дослідження* є методи, технології та інструментальні засоби удосконалення процесу прийняття рішень при управлінні харчовим підприємством на основі модифікованих евристичних і еволюційних методів та алгоритмів.

**Методи дослідження.** Основними методами дослідження в цій роботі є дотримання загальнонаукових методологій і принципів системного підходу.

Для розв'язання поставлених задач використовувались такі методи:

– методи математичної статистики для обробки та оцінки ефекту застосування алгоритмів, методів та інформаційних технологій;

– методи функціонального та об'єктно-орієнтованого аналізу для дослідження предметних областей;

– методи інтелектуального аналізу даних для аналізу та класифікації замовлень;

– методи об'єктно-орієнтованого проєктування, використані для створення інформаційної технології та елементів системи;

– теорія реляційних та багатовимірних моделей даних при проєктуванні баз знань, вітрин та сховища даних;

– методи прийняття рішень, методи багатокритеріального аналізу та прийняття рішень, еволюційні методи і евристичні алгоритми для розроблення інформаційної технології прийняття рішень;

– методи, засоби і технології сучасного прикладного програмування для побудови практичних реалізацій.

Таким чином, дисертаційна робота припускає використання як теоретичного, так і емпіричного методу дослідження. Теоретичною основою роботи є наукові роботи провідних вітчизняних і зарубіжних учених в області прийняття рішень при управлінні харчовими підприємствами, програмної інженерії, імітаційного моделювання, проєктування систем. Емпіричною основою роботи стали методи порівняння, вимірювання, спостерігання, експерименту, аналізу, направлені на модифікацію існуючих методів та алгоритмів і які було покладено в інформаційну технологію.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Винесені на захист наукові результати є теоретичною основою для розв'язання важливої науково-прикладної проблеми розроблення та практичного застосування методів і моделей прийняття рішень при управлінні харчовим виробництвом в умовах зміни режимів роботи, характеристик сировини та функцій оперативного персоналу для забезпечення регламентованих характеристик продуктів та підвищення ефективності багатоасортиментного виробництва. Науково-практичне значення роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні, розробленні та практичному застосуванні нової

інформаційної технології на основі модифікованих евристичних і еволюційних методів та алгоритмів.

Основні результати, які визначають наукову новизну роботи:

Вперше:

1) розроблено математичну модель процесу планування виконання замовлень, яка, на відміну від традиційних, що передбачають розбиття її за рівнями управління та підрозділами виконання, забезпечує комплексну оцінку ефективності сформованого варіанта плану виконання замовлень з урахуванням зовнішніх та внутрішніх впливів на основі запропонованих часткових критеріїв та зазначених обмежень;

2) розроблено новий метод прийняття рішень для розв’язання задачі планування виконання замовлень на основі комбінування алгоритмів «косяку риб» та «зграї вовків», що, на відміну від кожного з оригінальних алгоритмів, дає можливість уникнути локальних оптимумів та скоротити час пошуку обмежено критеріальних альтернативних оптимальних планів (до 5–6 часткових критеріїв оптимальності), час виконання замовлень та/або витрати на виконання; його доцільно застосовувати для підприємств з невеликим асортиментом продукції, що виготовляється на автоматизованій лінії;

3) розроблено новий метод прийняття рішень для розв’язання задачі планування виконання замовлень на основі комбінування алгоритмів «мурашиної колонії», «зграї вовків» та «генетичного алгоритму», що, на відміну від кожного з оригінальних алгоритмів, дає можливість уникнути локальних оптимумів і поліпшити характеристики планування при пошуку багатокритеріальних альтернативних оптимальних планів; його доцільно застосовувати для підприємств, які виготовляють великий асортимент багатокомпонентних видів продукції і потребують складних технологічних операцій, розрізнених за певними ділянками виробництва;

4) розроблено інформаційну технологію для розв’язання задачі планування виконання замовлень за заданою сукупністю критеріїв оптимальності, яка ґрунтується на запропонованих комбінованих методах і формуванні початкових альтернативних стартових значень із використанням методів інтелектуального аналізу даних, що забезпечує усунення невизначеності та зменшення ризику при прийнятті оптимальних рішень;

5) розроблено архітектуру гібридної web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень, яка реалізує запропоновану інформаційну технологію і базується на гнучкій інтеграції в «озері даних» інформації із статистичних та експертних джерел.

Вдосконалено:

6) алгоритм «мурашиної колонії», який, на відміну від його класичної форми, при застосуванні для розв’язання задачі планування виконання замовлень дозволяє скоротити час за рахунок використання підходів до локальної оптимізації;

7) алгоритм «зграї вовків», який, на відміну від його класичної форми, при застосуванні для розв’язання задачі планування виконання замовлень дозволяє скоротити час за рахунок використання виділення шаблонів із найкращих

альтернативних рішень задачі.

Отримало подальший розвиток:

8) підхід створення систем підтримки прийняття рішень із використанням спіральної моделі розробки програмного забезпечення, в якій, додатково до традиційної, чітко визначено місце проведення рефакторингу, що дає можливість скоротити час на розробку.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що розроблені методи, алгоритми та моделі є основою для створення гібридних web-орієнтованих систем підтримки прийняття рішень для вирішення задач управління харчовими підприємствами, що дає змогу вивести весь процес управління на якісно новий рівень. Запропонована інформаційна технологія забезпечує виконання замовлень із такими перевагами: оперативно формує оперативно-календарний план виконання замовлень із мінімізацією витрат, що направлений на максимізацію прибутку; дозволяє оперативно коригувати існуючий календарний план замовлень, що дає можливість реагувати на замовлення в реальному часі та забезпечувати оптимальне використання технологічного обладнання; значно збільшує ефективність використання сировини та матеріалів, а також забезпечує мінімізацію витрат на їх зберігання; забезпечує швидке реагування при виникненні негативних та позаштатних ситуацій шляхом внесення відповідних змін до поточного плану виконання замовлень; чітко розподіляє усі задачі щодо виконання кожного замовлення між виробничими підрозділами, що дає можливість врахувати послідовність виконання та необхідні ресурси із прив’язкою в часі; дозволяє оптимізувати використання виробничих потужностей.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено:

– у ТОВ «Слобожанський бекон» для оптимізації формування календарно-оперативних планів виконання замовлень (акт впровадження 16.12.2019);

– у ТОВ «Продеко» для удосконалення методів управління в умовах ризику та невизначеності (акт впровадження 10.12.2019);

– у ТОВ «Козятинський м’ясокомбінат» для прийняття рішень при розв’язанні задачі планування виконання замовлень (акт апробації 20.10.2020);

– у ТОВ «Лайм Системс» для розв'язання задачі планування виконання замовлень (акт апробації 18.01.2021);

– у ТОВ «Феракс» для прийняття рішень на основі модифікованих методів та алгоритмів при розв'язанні задачі планування виконання замовлень (акт апробації 27.01.2021);

– у ПрАТ «Оболонь» для планування виконання замовлень та при вирішенні задач управління підприємством (акт впровадження 18.02.2021);

– у Національному університеті харчових технологій при виконанні НДР «Наукове обґрунтування та розроблення активних пакувальних систем харчових продуктів» (№ ДР 0118U003558, 2019 р.) проблемною науково-дослідною лабораторією НУХТ, у навчальному процесі при підготовці магістрів за спеціальністю 122 – комп’ютерні науки (акт впровадження 30.06.2019);

– у Національному університеті харчових технологій при виконанні НДР «Дослідження та впровадження інформаційних технологій у галузях харчової

промисловості та освіті» (№ ДР 0117U003475, 2017–2021 рр.) кафедрою інформаційних систем, у навчальному процесі при підготовці бакалаврів та магістрів спеціальності 122 – комп'ютерні науки (акт впровадження 29.12.2020).

Інформаційна технологія прийняття рішень та відповідний програмний продукт передані у Київський міський Радіоклуб Ліги Радіоаматорів України і використовуються для вирішення організаційно-управлінських задач при підготовці та проведенні змагань (довідка 26.09.2020).

Акти та довідки про апробацію і впровадження представлені у додатку до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** До дисертації увійшли наукові результати, отримані здобувачем особисто. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано лише ті ідеї та положення, які є результатом особистої роботи здобувача.

У спільних публікаціях автору належать такі результати: [1] аналіз особливостей захисту інформаційних ресурсів у корпоративних мережах та системах, а також описаний підхід щодо їх оцінки; [2] запропонований підхід швидкої розробки моделі корпоративного сховища даних із використанням CA Erwin Model Manager; [4, 18, 48] розроблені математичні моделі управління; [3] досліджена та запропонована структура пакета програмного модуля для ідентифікації динамічних об'єктів, а також визначено його місце при перевірці на стаціонарність динамічного об'єкта ідентифікації; [5, 26, 35, 36, 39, 40, 43, 47, 49, 51] спроєктовані й розроблені структура, програмні елементи і модулі системи підтримки прийняття рішень та проведено їх апробацію; [6] запропонований метод прогнозування стану технологічного обладнання харчового підприємства на основі методу сингулярного спектрального аналізу; [7] розробка та аналіз окремих діаграм моделі процесу моніторингу і планування собівартості продукції багатономенклатурного харчового підприємства; [8] дослідження процесу закупок; [9] розроблення основних елементів математичної моделі постачання сировини на цукровий завод з урахуванням генетико-детермінованих властивостей та запропоновані підходи до вирішення задачі складання послідовності переробки; [10] проведення дослідження основних проблем захисту web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень під час планування виконання договорів для підприємств, а також здійснений порівняльний аналіз програмних платформ для реалізації модуля захисту таких систем; [11] аналіз етапів процесу виготовлення м'ясних виробів та розроблена математична модель даного процесу; [12] проведений аналіз та обробка даних при застосуванні модифікованого ACO алгоритму для вирішення задачі побудови календарного плану виконання договорів для підприємств, діяльність яких пов'язана з наданням послуг; [13] проведене дослідження процесу оперативного управління постачанням сировини на цукровому заводі та виділено ключову задачу управління формування розкладу постачання сировини з урахуванням оптимізації процесів прийому, зберігання та переробки сировини; [14] дослідження особливостей механізмів автентифікації та авторизації у web-орієнтованих системах, а також аналіз особливостей та переваг використання JWT-маркерів; [15] розроблена структура експертної системи для моделювання

рецептур багатокомпонентних харчових продуктів для застосування її при плануванні виготовлення продукції; [16] аналіз та апробація інформаційної технології, яка включає в себе адаптовані методи інтелектуального аналізу даних для підтримки процесу коригування асортименту продукції багатономенклатурного харчового підприємства; [17] проведено дослідження та аналіз методів і підходів щодо проведення рефакторингу; [18, 23, 52, 53] запропонована сукупність програмно-технологічних рішень, що входять до структури web-орієнтованої СППР; [19] проведено аналіз та апробацію розроблених нечітких ситуаційних мереж для систем підтримки прийняття рішень; [20] аналіз застосування рефакторингу в популярних моделях життєвого циклу програмного забезпечення; [21] проведений аналіз застосування математичного апарата пошуку оптимальної рецептури багатокомпонентних харчових виробів із збереженням їх харчової цінності та можливості застосування їх у виробничих умовах; [22] запропонована інформаційна технологія, яка ґрунтується на комбінуванні алгоритмів «мурашиної колонії», «сірих вовків» та «генетичного алгоритму» для розв’язання задачі планування виконання замовлень щодо виготовлення продукції на харчових підприємствах в умовах невизначеності та ризику; розроблена математична модель виконання замовлень для харчового підприємства; [24] проведений аналіз застосування категорії рефакторингу баз даних для створення корпоративних інформаційних систем; [25] аналіз необхідності використання специфікації семантичного версіонування баз даних, проведена класифікація баз даних за способом доступу до даних; [27] проведений аналіз застосування різних модифікацій алгоритму кажанів для розв’язання задач управління на харчових підприємствах; [28, 37, 45, 50] розроблені гібридні та модифіковані алгоритми для вирішення задач управління; [29] формалізація процесу створення програмних продуктів, а також рефакторингу; [30] проведене дослідження щодо використання модифікацій алгоритму «кажанів» для розв’язання задач управління харчовим підприємством, проведений аналіз результатів; [31] проведене дослідження алгоритмів «кажанів» та їх модифікацій з адаптацією для розв’язання багатокритеріальної задачі формування виробничих завдань та оперативно-календарних планів на харчових підприємствах, обґрунтування обрання алгоритму «кажанів» на основі стратегії пошуку польотів Levy; [32] розроблена математична модель багатокритеріальної задачі формування виробничих завдань та оперативно-календарних планів із виробництва ковбасних і м’ясних виробів, а також удосконалені ітераційні алгоритми на основі алгоритму «сірих вовків» та алгоритму «мурашиної колонії» для розв’язання задачі формування оптимальних варіантів розкладу виконання замовлень; [33] розроблені алгоритми та методи завантаження інформації до сховища даних із різнорідних джерел; [34] розроблений підхід до формування оптимального розкладу виконання замовлення з використанням методу «бджолиного рою»; [38] розроблені модулі аналізу та виявлення причин виникнення некондиційної продукції при виготовленні макаронних виробів; [41] аналіз використання еволюційного підходу при створенні баз даних; [42] дослідження існуючих операцій рефакторингу баз даних; [44] розроблено сховище даних і пакети Data Mining для визначення асортименту та планування виготовлення обсягів м'ясної продукції; [46] запропоновано

використання методики BSP (Business Systems Planning – системи організаційного планування) та виконання її запровадження в інформаційній системі підтримки управлінських рішень при виробництві макаронних виробів.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень та розробок, викладених у дисертаційній роботі, доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях і семінарах: Міжнародній науковій конференції «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчової промисловості» (м. Київ, 2014 р.); 81-ій міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2015 р.); II-ій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, 2015 р.); III-ій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, 2016 р.); 8th Central European Congress on Food 2016 – Food Science for Well-being (CEFood, 2016) (м. Київ, 2016 р.); 83-ій міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2017 р.); IV-ій міжнародній науково-практичній конференції «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)» (м. Київ, 2017 р.); VI-ій міжнародній науково-технічній конференції «Захист інформації й безпека інформаційних систем» (м. Львів, 2017 р.); XXIV-ій міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика – 2017» (м. Київ, 2017 р.); Восьмій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (м. Київ, 2017 р.); IV-ій міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, 2017 р.); Міжнародному науково-практичному семінарі молодих учених та студентів «Програмовані логічні інтегральні схеми та мікропроцесорна техніка в освіті і виробництві» (м. Луцьк, 2018 р.); 84-ій міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2018 р.); XII-ій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (м. Київ, Полтава, Катовице, Париж, Вільнюс, Харків, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій» (м. Краків, Польща, 2019 р.); Міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2019 р.); LXXV-ій науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (м. Київ, 2019 р.); VI-ій міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, 2019 р.); Другій міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і

телекомунікаційних технологій» (м. Київ, 2019 р.); 86-ій міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2020 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Цифрова економіка та інформаційні технології» (м. Київ, 2020 р.); XV-ій міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та імітаційне моделювання систем» (м. Чернігів, 2020 р.); Global science and education in the modern realities, Conference proceedings «Sworld-Us conference proceedings», «ISE&E» & SWorld in conjunction with KindleDP (Seattle, Washington, USA, 2020).

**Публікації.** Основні теоретичні та експериментальні результати наукових досліджень висвітлено у 53 наукових працях, із них: 32 статті у наукових іноземних виданнях та у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз [1–32] (з яких 4 індексовані у наукометричній базі Scopus [16, 18, 21, 22], 1 – Web of Science [21], 7 статей у зарубіжних періодичних виданнях [8, 26–31], 25 статей у наукових фахових виданнях України [1–7, 9–25, 32]); 21 публікація у збірниках праць конференцій [33–53].

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 361 найменувань та 7 додатків. Загальний обсяг дисертації 395 сторінок, у тому числі 267 сторінок основного тексту. Дисертація містить 38 рисунків та 11 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** сформовано мету та завдання дослідження, обґрунтовано актуальність обраної теми роботи, представлено методи дослідження. Наведено дані щодо зв’язку теми дисертаційної роботи з науковими програмами та планами кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій. Зазначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Представлено результати апробації матеріалів дисертації. Наведено інформацію щодо структури та об’єму роботи, публікацій та особистого внеску автора.

**У першому розділі** «Аналіз світового досвіду стосовно удосконалення підходів та методів управління харчовим підприємством» проведено аналіз сучасних методів та підходів щодо управління виробництвом. Проведено аналіз існуючої інформаційної системи управління підприємством.

Кожен рівень управління підприємством потребує врахування складного ієрархічного впливу по вертикалях рівнів управління. Здійснення управління усіма ланками підприємства повинно бути узгодженим, що неможливо досягти, використовуючи стандартні методи управління.

Проведено огляд літературних джерел, в яких розглядаються підходи щодо розв’язання задач планування, у тому числі з використанням евристичних і еволюційних методів та алгоритмів. Необхідно відмітити, що більшість авторів підкреслюють ефективність використання модифікованих алгоритмів, адже

використання стандартних/базових та їх версій призводить до витрат часових ресурсів, що не відповідає потребі управління в реальному часі. Було виділено такі алгоритми: алгоритм «бджолиної колонії», алгоритм «кажанів», «генетичний алгоритм», алгоритм «зграї вовків», алгоритм «мурашиної колонії», алгоритм «пошуку косяку риб».

Таким чином, створення інформаційних технологій доцільно здійснювати у двох напрямах: 1) розроблення нових модифікованих алгоритмів, що дозволить вирішувати складні багатокритеріальні задачі прийняття рішення; 2) розроблення нових підходів та методів щодо створення гібридних систем підтримки прийняття рішень.

Все це обумовлює розробку та створення інтелектуальних web-орієнтованих інформаційних систем нового покоління, які використовують модифіковані евристичні та еволюційні методи для підтримки розв’язку задач прийняття рішень.

**У другому розділі** «Формалізація задач управління» розроблено математичну модель процесу планування виконання замовлень, яка, на відміну від традиційних, передбачає розбиття її за рівнями управління та підрозділами виконання, забезпечує комплексну оцінку ефективності сформованого варіанта плану виконання замовлень із урахуванням зовнішніх та внутрішніх впливів на основі запропонованих часткових критеріїв та зазначених обмежень. Запропонована математична модель містить часткові критерії, обмеження та оціночну функцію для визначення ефективності сформованого варіанта плану виконання замовлень. Вона дозволяє коригувати та оцінювати ефективність виконання замовлень у залежності від об’єктивних та суб’єктивних переваг, наданих особі, яка приймає рішення, а також забезпечує як урахування, так і виключення певних часткових критеріїв у залежності від певної ситуації.

Оптимальний план виконання замовлень не порушує загальний стратегічний план діяльності підприємства, мінімізує змінні витрати, дозволяє максимально використати виробничо-технологічне обладнання. Оперативна реконфігурація плану виготовлення продукції виникає у таких випадках:

– необхідність включення у поточний план виготовлення замовлення, яке тільки надійшло і має високий пріоритет виконання;

– виникнення позаштатних ситуацій, пов’язаних із порушенням графіка надходження сировини та матеріалів, експлуатації та стану технологічного обладнання, з порушенням умов договорів постачальниками;

– соціально-економічні потреби, пов’язані з сезонними та політичними вподобаннями споживачів;

– зміни у стратегічному напрямі діяльності підприємства.

Для критеріїв, які оцінюються у грошових одиницях, застосовується адитивна згортка із встановленням пріоритетів для кожного з них у відповідності з конкретним випадком.

Загальна оціночна функція буде представлена адитивною згорткою усіх критеріїв (1):

$$F_0' = \lambda_1 F_1 - \sum_{\gamma=5}^{10} \lambda_\gamma F_\gamma \to \max, \quad (1)$$

де $\lambda_\gamma$ – коефіцієнт важливості критерію $\lambda_\gamma \in (0,1)$, $\sum \lambda_\gamma = 1$.

У залежності від соціальної та економічної ситуації, а також досвіду менеджера, який відповідає за складання оперативного плану виконання замовлення, задача може вирішуватись за різними варіантами.

Отримання максимального прибутку від виконання замовлень на виготовлення продукції за заданий часовий проміжок є першим частковим критерієм оцінки ефективності варіанта плану (2) на плановий період $(t+\Delta t)$.

$$F_1(t+\Delta t) = \sum_{i=1}^{n} \left(\theta_i * \left(sd_i(t+\Delta t) - \left(vc_i(t+\Delta t) + vz_i(t+\Delta t)\right)\right) * op_i(t+\Delta t)\right) \to \max, \quad (2)$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$t$ – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – замовлення, що знаходиться на черзі, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити у період $(t+\Delta t)$, а також регламентує вид упаковки та фасування;

$n$ – загальна кількість замовлень, яку необхідно виконати за період $(t+\Delta t)$;

$\theta_i$ – параметр, який приймає значення $\{0,1\}$ ($\theta_i = 1$, якщо $i$-е замовлення виконується за період $(t+\Delta t)$; $\theta_i = 0$ в іншому випадку);

$sd_i(t+\Delta t)$ – вартість одиниці продукції для $i$-го замовлення за період $(t+\Delta t)$;

$vc_i(t+\Delta t)$ – постійні витрати на виготовлення одиниці продукції для $i$-го замовлення за період $(t+\Delta t)$;

$vz_i(t+\Delta t)$ – змінні витрати на виготовлення одиниці продукції для $i$-го замовлення за період $(t+\Delta t)$;

$op_i(t+\Delta t)$ – обсяг готової продукції, яку необхідно виготовити за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$.

Мінімізація часу на виготовлення продукції кожного $i$-го – замовлення за період $(t+\Delta t)$ є частковим критерієм і впливає на загальну ефективність варіанта плану (3), а обмеження (4) регламентує виготовлення продукції за період $(t+\Delta t)$, обмеження (5) обумовлює закінчення виготовлення продукції не пізніше визначеного терміну.

$$F_{2i}(t+\Delta t)=\sum_{j=1}^{\omega_i}\sum_{l=1}^{\sigma_i}\left(o_{ijl}*\left(pt_{ijl}+t_{ijl}+\eta t_{ijl}+to_{ij-1}\right)\right)\to\min, \quad (3)$$

$$t\le t_i+F_{2i}(t+\Delta t)\le t+\Delta t, \quad (4)$$

$$t\le t_i+F_{2i}(t+\Delta t)\le dt_i, \quad (5)$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$t$ – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – замовлення, що знаходиться на черзі виконання, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити за період $(t+\Delta t)$;

$j$ – номер етапу із множини етапів $(j\in\omega_i)$ для $i$-го замовлення;

$\omega_i$ – кількість необхідних етапів виготовлення $i$-го замовлення;

$l$ – номер обладнання із множини обладнання $(l\in\sigma_i)$ для $i$-го замовлення;

$\sigma_i$ – кількість задіяного обладнання для виконання усіх етапів при виготовленні $i$-го замовлення;

$t_i$ – час початку виконання продукції за $i$-м замовленням;

$dt_i$ – час, на який необхідно виготовити продукцію за $i$-м замовленням;

$\Delta t_{ijl}$ – час виконання здійснення $j$-го етапу на $l$-му обладнанні для виготовлення продукції за $i$-м замовленням;

$pt_{ijl}$ – час, необхідний для підготовки $l$-го обладнання для здійснення $j$-го етапу при виготовленні продукції за $i$-м замовленням, може приймати нуль, якщо підготовка не потрібна;

$to_{ij-1}$ – час переходу/очікування між виконанням $j$-го етапу до $(j-1)$ етапу;

$\eta t_{ijl}$ – час для очищення обладнання після $j$-го етапу виготовлення продукції за $i$-м замовленням на $l$-му обладнанні;

$o_{ijl}$ – параметр, що приймає значення $\{0,1\}$ ($o_{ijl}=1$, якщо $j$-й етап можливо виконати на $l$-му обладнанні для виготовлення продукції за $i$-м замовленням; $o_{ijl}=0$ – в іншому випадку).

Максимізація запасу часу при виконанні кожного $i$-го замовлення за період $(t+\Delta t)$ є частковим критерієм для певного замовлення і впливає на загальну ефективність варіанта плану (6):

$$F_{3i}(t+\Delta t)=\begin{cases} dt_i-\left(t_i+F_{2i}(t+\Delta t)\right), & \textit{якщо} \quad \left(t_i+F_{2i}(t+\Delta t)\right)<dt_i \\ 0, & \textit{в іншому випадку}\end{cases}\to\max, \quad (6)$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$t$ – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – номер замовлення, що знаходиться на черзі виконання, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити за період $(t+\Delta t)$;

$j$ – номер етапу із множини етапів $(j \in \omega_i)$ для $i$-го замовлення;

$\omega_i$ – кількість необхідних етапів виготовлення $i$-го замовлення;

$t_i$ – час початку виконання продукції за $i$-м замовленням;

$dt_i$ – час, на який необхідно виготовити продукцію за $i$-м замовленням.

Мінімізація сумарного часу невикористання (простою) усіх одиниць технологічного обладнання та відділів у цілому, який визначається за формулою (7):

$$F_4(t+\Delta t) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{\omega_i}\sum_{l=1}^{\sigma_i}\left(o_{ijl} * \left(tzl_{i(j-1)_l l} - tpl_{ij_l l}\right)\right) \to \min, \qquad (7)$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$t$ – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – замовлення, що знаходиться на черзі виконання, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити за період $(t+\Delta t)$;

$j$ – номер етапу із множини етапів $(j \in \omega_i)$ для $i$-го замовлення;

$\omega_i$ – кількість необхідних етапів виготовлення $i$-го замовлення;

$l$ – номер обладнання із множини обладнання $(l \in \sigma_i)$ для $i$-го замовлення;

$\sigma_i$ – кількість задіяного обладнання для виконання усіх етапів при виготовленні $i$-го замовлення;

$n$ – загальна кількість замовлень, які необхідно виконати за період $(t+\Delta t)$;

$tzl_{i(j-1)_l l}$ – час завершення виконання $(j-1)_l$-го етапу на $l$-му обладнанні при виготовленні продукції за $i$-м замовленням;

$tpl_{i(j-1)_l l}$ – час початку виконання $j_l$-го етапу на $l$-му обладнанні при виготовленні продукції за $i$-м замовленням;

$o_{ijl}$ – параметр, який приймає значення $\{0,1\}$ ($o_{ijl}$=1, якщо $j$-й етап виконується на $l$-му обладнанні при виготовленні продукції за $i$-м замовленням; $o_{ijl} = 0$ – в іншому випадку).

Сумарний розмір штрафів за невчасне виконання замовлення у плановому періоді, який визначається за формулою (8):

$$F_5(t+\Delta t) = \sum_{i=1}^{n}\left(g_i * \Psi_i * hk_i\right) \to \min, \qquad (8)$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$t$ – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – замовлення, що знаходиться на черзі виконання, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити за період $(t+\Delta t)$;

$g_i$ – розмір штрафу, прописаний у договорі, який необхідно відшкодувати замовнику, якщо буде порушено $dt_i$ – термін виконання замовлення;

$\Psi_i$ – коефіцієнт розраховується за формулою (9) й визначає необхідність відшкодування замовнику, якщо буде порушено термін виконання $dt_i$:

$$\Psi_i = \begin{cases} 1, & \textit{якщо} \quad \left(t_i + F_{2i}(t+\Delta t)\right) < dt_i, \\ 0, & \textit{в іншому випадку}, \end{cases} \tag{9}$$

де $t_i$ – час початку виконання виготовлення продукції за $i$-м замовленням;

$hk_i$ – коефіцієнт, який враховує необхідність сплати штрафу за запізнення за кожну добу і розраховується за формулою (9):

$$hk_i = \begin{cases} 1, \ \textit{якщо розмір штрафу фіксований і не залежить від кількості діб} \\ \left\lceil \dfrac{F_{2i}(t+\Delta t)}{24} \right\rceil, \textit{в іншому випадку визначаємо кількість діб} \end{cases} . \tag{10}$$

Шостим критерієм є значення сумарних витрат, які неминучі при виконанні $j$-го етапу на $l$-му обладнанні при виготовленні продукції за $i$-м замовленням за одиницю часу, адже якщо технологічна ділянка виступає як окремий цех, тоді враховується увесь час експлуатації, що розраховується за формулою (11):

$$F_6(t+\Delta t) = \sum_{i=1}^{n} \left( \sum_{j=1}^{\omega_i} \sum_{l=1}^{\sigma_i} \left( o_{ijl} * \left( pt_{ijl} + \Delta t_{ijl} + \eta t_{ijl} \right) \right) * c_{ijl} \right) \to \min , \tag{11}$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$t$ – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – номер замовлення, що знаходиться на черзі виконання, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити за період $(t+\Delta t)$;

$j$ – номер етапу із множини етапів $(j \in \omega_i)$ для $i$-го замовлення,

$\omega_i$ – кількість необхідних етапів виготовлення $i$-го замовлення;

$l$ – номер обладнання із множини обладнання $(l \in \sigma_i)$ для $i$-го замовлення;

$\sigma_i$ – кількість задіяного обладнання для виконання усіх етапів при виготовленні *i*-го замовлення;

$\Delta t_{ijl}$ – час виконання здійснення $j$-го етапу на *l*-му обладнанні для виготовлення продукції за $i$-м замовленням;

$pt_{ijl}$ – час, необхідний для підготовки *l*-го обладнання для здійснення $j$-го етапу при виготовленні продукції за *i*-м замовленням, може приймати нуль, якщо підготовка не потрібна;

$c_{ijl}$ – витрати за одну годину при здійсненні $j$-го етапу на *l*-му обладнанні для виготовлення продукції за $i$-м замовленням;

$\eta t_{ijl}$ – час для очищення обладнання після $j$-го етапу виготовлення продукції за $i$-м замовленням на *l*-му обладнанні, якщо воно не потрібно або це необхідно перед проведенням ремонтно-профілактичних робіт;

$o_{ijl}$ – параметр, який приймає значення $\{0,1\}$ ($o_{ijl}=1$, якщо $j$-й етап можливо виконати на *l*-му обладнанні для виготовлення продукції за $i$-м замовленням; $o_{ijl}=0$ в іншому випадку).

Сьомим критерієм є мінімізація витрат на обладнання, яке простоює, але у випадку, коли в обладнанні є контури, що потребують постійного включення, він визначається за формулою (12):

$$F_7(t+\Delta t)=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{\omega_i}\sum_{l=1}^{\sigma_i}\left(NOT\left(o_{ijl}\right)*\left(tzl_{i(j-1)_l l}-tpl_{ij_l l}\right)*cp_l*vk_l\right)\to\min, \qquad (12)$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$t$ – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – номер замовлення, що знаходиться на черзі виконання, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити за період $(t+\Delta t)$;

$j$ – номер етапу з множини етапів $(j\in\omega_i)$ для *i*-го замовлення, $\omega_i$ – кількість необхідних етапів виготовлення $i$-го замовлення;

$l$ – номер обладнання із множини обладнання $(l\in\sigma_i)$ для $i$-го замовлення, $\sigma_i$ – кількість задіяного обладнання для виконання усіх етапів при виготовленні $i$-го замовлення;

$n$ – загальна кількість замовлень, які необхідно виконати за період $(t+\Delta t)$;

$tzl_{i(j-1)_l l}$ – час завершення виконання $(j-1)_l$-го етапу на *l*-у обладнанні при виготовленні продукції за $i$-м замовленням;

$tpl_{i(j-1)_l l}$ – час початку виконання $j_l$-го етапу на *l*-у обладнанні при виготовленні продукції за $i$-м замовленням;

$vk_l$ – параметр, що приймає значення $\{0,1\}$ ($vk_l = 1$, якщо $l$-е обладнання при простої має постійно включені елементи; $vk_l = 0$ – в іншому випадку).

$cp_l$ – витрати при простої $l$-го обладнання;

$o_{ijl}$ – параметр, який приймає значення $\{0,1\}$ ($o_{ijl} = 1$, якщо $j$-й етап можливо виконати на $l$-у обладнанні для виготовлення продукції за $i$-м замовленням; $o_{ijl} = 0$ – в іншому випадку).

Восьмим критерієм є мінімізація витрат на переробку та утилізацію отриманої некондиційної продукції при виконанні усіх замовлень, він визначається за формулою (13):

$$F_8(t+\Delta t) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{\omega_i}\sum_{l=1}^{\sigma_i}\left(o_{ijl} * cn_{ijl} * vnk_{ijl} * op_i(t+\Delta t)\right) \to \min, \qquad (13)$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$t$ – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – номер замовлення, що знаходиться у черзі на виконання, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити за період $(t+\Delta t)$;

$j$ – номер етапу із множини етапів $(j \in \omega_i)$ для $i$-го замовлення, $\omega_i$ – кількість необхідних етапів виготовлення $i$-го замовлення;

$l$ – номер обладнання із множини обладнання $(j \in \sigma_i)$ для $i$-го замовлення, $\sigma_i$ – кількість задіяного обладнання для виконання усіх етапів при виготовленні $i$-го замовлення;

$n$ – загальна кількість замовлень, які необхідно виконати за період $(t+\Delta t)$;

$cn_{ijl}$ – вартість перероблення чи утилізації одиниці отриманої некондиційної продукції при виконанні $i$-го замовлення на $l$-му технологічному обладнанні;

$op_i(t+\Delta t)$ – обсяг готової продукції, яку необхідно виготовити за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$;

$vnk_{ijl}$ – загальна кількість некондиційної продукції, отриманої на кожну одиницю продукції під час виконання $j$-го етапу $i$-го замовлення на $l$-му технологічному обладнанні;

$o_{ijl}$ – параметр, який приймає значення $\{0,1\}$ ($o_{ijl} = 1$, якщо $j$-й етап можливо виконати на $l$-му обладнанні для виготовлення продукції за $i$-м замовленням; $o_{ijl} = 0$ – в іншому випадку).

Дев’ятим критерієм є мінімізація витрат на зберігання готової продукції, який визначається за формулою (14):

$$F_9(t+\Delta t)=\sum_{i=1}^{n}\left(vz_i * op_i\left(t+\Delta t\right) * \max(0, dt_i-\left(t_i+F_{2i}(t+\Delta t)\right)\right)\rightarrow \min, \qquad (14)$$

де $\left(t+\Delta t\right)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$t$ – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – номер замовлення, що знаходиться у черзі виконання, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити за період $\left(t+\Delta t\right)$;

$op_i\left(t+\Delta t\right)$ – обсяг готової продукції, яку необхідно виготовити за $i$-м замовленням у період $\left(t+\Delta t\right)$;

$vz_i$ – вартість зберігання продукції за $i$-м замовленням;

$dt_i$ – час, на який необхідно виготовити продукцію за $i$-м замовленням.

У випадку, коли підприємство здійснює постачання до замовників самостійно або здійснює зберігання готової продукції на проміжних-регіональних складах, критерій 9 перетворюється на (15), що описує сумарні витрати на зберігання, перевезення продукції від заводу до регіональних складів, а потім до замовників для кожного $i$-го виду продукції, а загальні сумарні витрати за період будуть мати вигляд (16):

$$F_{9i}(t+\Delta t)=\sum_{z_i=1}^{Z_i}\left(vzgt_{itz} * zgt_{itz}\right)+\sum_{z_i=1}^{Z_i}\sum_{r=1}^{R}\left(cgt_{itzr} * vcgt_{itzr}\right)+\sum_{r=1}^{R}\left(vzgt_{itr} * zgt_{itr}\right)+\sum_{r=1}^{R}\sum_{b=1}^{B}\left(cgt_{itrb} * vcgt_{itrb}\right)\rightarrow \min, \quad (15)$$

$$F_9(t+\Delta t)=\sum_{i=1}^{n}F_{9i}(t+\Delta t)\rightarrow \min, \qquad (16)$$

де $z_i$ – завод, на якому виготовляється $i$-й вид продукції;

$Z_i$ – кількість заводів, де виготовляється $i$-й вид продукції;

$r$ – регіональний склад;

$R$ – кількість регіональних складів;

$b_i$ – замовник, який замовив $i$-й вид продукції;

$B_i$ – кількість замовників, які замовили $i$-й вид продукції;

$zgt_{itz}$ – вартість зберігання одиниці $i$-го виду продукції на заводі $z$ за момент часу $t$;

$vzgt_{itz}$ – обсяг $i$-го виду продукції, що зберігається на заводі $z$ за момент часу $t$;

$cgt_{itzr}$ – вартість перевезення одиниці $i$-го виду продукції з заводу $z$ до регіонального складу $r$ за момент часу $t$;

$vcgt_{itzr}$ – обсяг $i$-го виду продукції, що транспортується з заводу $z$ до регіонального складу $r$ за момент часу $t$;

$zgt_{itr}$ – вартість зберігання одиниці $i$-го виду продукції на регіональному складі *r* за момент часу *t*;

$vzgt_{itr}$ – обсяг $i$-го виду продукції, що зберігається на регіональному складі *r* за момент часу *t*;

$cgt_{itrb}$ – вартість перевезення одиниці $i$-го виду продукції з регіонального складу *r* до замовника *b* за момент часу *t*;

$vcgt_{itzb}$ – обсяг $i$-го виду продукції, що транспортується з регіонального складу *r* до замовника *b* за момент часу *t*.

Обмеження на вміст складу заводу *z* для *i*-го виду продукції на момент часу *t* визначається за формулою (17):

$$\sum_{i=1}^{I} vzgt_{itz} \le V_{zi}\,, \tag{17}$$

де $i$-й вид продукції;

$vzgt_{itz}$ – обсяг $i$-го виду продукції, що зберігається/надходить на момент часу *t*;

*I* – загальна кількість замовлень однакової продукції;

$V_{zi}$ – загально допустимий обсяг продукції $i$-го виду, що може зберігатися на складі заводу *z* одночасно.

Обмеження на вміст регіонального складу *r* на момент часу *t* визначається за формулою (18):

$$\sum_{i=1}^{I} vrgt_{itr} \le V_{ri}\,, \tag{18}$$

де $i$-й вид продукції;

$vrgt_{itz}$ – обсяг $i$-го виду продукції, що зберігається/надходить на момент часу *t*;

*I* – загальна кількість замовлень однакової продукції;

$V_{ri}$ – загально допустимий обсяг продукції $i$-ого виду, що може зберігатися на регіональному складі *r* на момент часу *t*.

Десятим критерієм є мінімізація витрат на зберігання сировини та матеріалів, необхідних для виготовлення продукції, який визначається за формулою (19):

$$F_{10}(t+\Delta t) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{r_i}\left(vsr_{ik} * rk_{ik} * op_i\left(t+\Delta t\right) * \max(0, t_i - rt_{ik}\right) \to \min\,, \tag{19}$$

де $\left(t+\Delta t\right)$ – плановий період на який розраховується виробничий план;

*t* – час початку виконання плану, який позначається датою та часом, до хвилини;

$\Delta t$ – час, за який необхідно виконати усі замовлення, у хвилинах;

$i$ – замовлення, що знаходиться у черзі виконання, регламентує один вид продукції, яку необхідно випустити за період $(t+\Delta t)$;

$k$ – вид ресурсу, який необхідний для виконання $i$-го замовлення;

$r_i$ – перелік необхідних ресурсів для виготовлення продукції за $i$-м замовленням;

$vsr_{ik}$ – вартість зберігання $k$-го компонента для виконання $i$-го замовлення;

$rk_{ik}$ – обсяг сировини, необхідний для виготовлення одиниці продукції за $i$-м замовленням;

$op_i(t+\Delta t)$ – обсяг готової продукції, яку необхідно виготовити за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$.

$t_i$ – час початку виготовлення продукції за $i$-м замовленням;

$rt_{ik}$ – час надходження $k$-го компонента для виконання $i$-го замовлення.

Для представленої математичної моделі висуваються наступні додаткові умови та обмеження, які враховують усі особливості задачі:

1. Кожне $l$-е технологічне обладнання або виробничий підрозділ може виконувати не більше одного $j$-го етапу $i$-го замовлення, що описується умовою в формулі (20):

$$\sum_{j=1}^{\sigma_i} o_{ijl} = 1. \tag{20}$$

2. Для того, щоб отримати готову продукцію в повному обсязі та асортименті згідно з плановими замовленнями, усі етапи повинні бути виконані з використанням потрібного технологічного обладнання за виразом (21):

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} o_{ijl} = \omega_i, \tag{21}$$

де $l$ – технологічне обладнання, що належить до загальної множини технологічного обладнання $L$;

$j$ – технологічний етап, що входить до загальної множини етапів $J$.

3. Для кожного $i$-го замовлення необхідно враховувати те, що кожен етап технологічного процесу може розпочатися лише після завершення усіх попередніх етапів. Якщо $o_{i(j-1)(l-1)} = 1$ та $o_{ijl} = 1$, тоді час початку виконання $l$-го етапу визначається виразом (22):

$$\tau_{i(j-1)(l-1)} + \Delta\tau_{i(j-1)(l-1)} \le \tau_{ijl}, \tag{22}$$

де $\tau_{i(j-1)(l-1)}$ – час початку виконання $(j-1)$ попереднього етапу $i$-го замовлення на $(l-1)$ попередньому технологічному обладнанні;

$\Delta\tau_{i(j-1)(l-1)}$ – сумарний час експлуатації $(l-1)$ попереднього технологічного обладнання для виконання $(j-1)$ попереднього етапу $i$-го замовлення;

$\tau_{ijl}$ – час початку виконання $j$-го поточного етапу $i$-го замовлення на *l*-му технологічному обладнанні.

4. Обмеження (4) регламентує виготовлення продукції за період $(t+\Delta t)$ і не може виходити за ці межі.

5. Обмеження (5) обумовлює закінчення виготовлення продукції не пізніше визначеного терміну встановленого замовником.

6. Час початку виконання *i*-го замовлення на *l*-му технологічному обладнанні може бути задано константою чи проміжком, що визначається показниками роботи конкретної бригади при фасуванні/пакуванні або при виготовленні специфічного виду продукції та описується виразом (23):

$$o_{ijl} = const \quad \text{або } o_{ijl} \in [a,b], \quad a,b - const\,. \tag{23}$$

Наприклад, виготовляння $i$-го замовлення повинно припадати тільки на другу зміну, тобто: $o_{ijl} \in [16:15..23:55]$.

7. У випадку, якщо на плановий період $(t+\Delta t)$ передбачається виконання ремонтно-профілактичних робіт на певному обладнанні, тоді плановий період розбивається на два проміжки: до та після виконання таких робіт.

8. Усі види ресурсів для виконання $i$-го замовлення повинні бути у повному обсязі, а їх надходження повинно бути не пізніше початку етапу для виконання $i$-го замовлення, що визначається виразом (24):

$$\sum_{k=1}^{r_i} rk_{ik} * op_i(t+\Delta t) \geq rkz_k\,, \tag{24}$$

$$trp_{ik} \leq \tau_{ijl}\,,$$

де $\tau_{ijl}$ – час початку виконання *j*-го етапу $i$-го замовлення на *l*-му технологічному обладнанні;

$k$ – вид ресурсу, необхідного для виконання $i$-го замовлення;

$r_i$ – перелік ресурсів, необхідних для виготовлення продукції за $i$-м замовленням;

$op_i(t+\Delta t)$ – обсяг готової продукції, яку необхідно виготовити за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$.

$rk_{ik}$ – обсяг сировини, необхідний для виготовлення одиниці продукції за $i$-м замовленням;

$rkz_k$ – обсяг сировини $k$-го виду ресурсу, що надійшов у момент часу $trp_{ik}$;

$trp_{ik}$ – час надходження $k$-го виду ресурсу до початку виконання *j*-го поточного етапу $i$-го замовлення на *l*-му технологічному обладнанні.

9. Бувають випадки, коли необхідно зберегти повну або часткову пріоритетність виконання замовлення, тому може вводитися часткове або повне ранжування замовлень, а також чітка послідовність у вигляді нерівності, наприклад, $u < p$, де $u$ та $p$ – номери замовлень.

10. Обсяг виготовлення продукції не може перевищувати максимально можливу потужність підприємства в цілому і задається формулою (25):

$$MinOp_i \le op_i(t+\Delta t) \le MaxOp_i, \tag{25}$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$op_i(t+\Delta t)$ – обсяг готової продукції, яку необхідно виготовити за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$;

$MinOp_i$ – мінімально можливий обсяг виготовлення продукції за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$, який буде рентабельним;

$MaxOp_i$ – максимально можливий обсяг виготовлення продукції за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$.

11. Термін зберігання готової продукції не може перевищувати термін придатності до вживання та термін переробки і задається формулою (26):

$$\begin{aligned} &tvug_i(t+\Delta t) \le tvug_i(t+\Delta t) + tper_i(t+\Delta t) \le tvug_i(t+\Delta t) + tvidg_i(t+\Delta t) \le \\ &\le tvug_i(t+\Delta t) + tprid_i(t+\Delta t) \end{aligned}, \tag{26}$$

де $(t+\Delta t)$ – плановий період, на який розраховується виробничий план;

$tvug_i(t+\Delta t)$ – час виготовлення продукції, яку виготовили за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$;

$per_i(t+\Delta t)$ – час, за який можливо здійснити переробку продукції, яку виготовили за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$;

$tvidg_i(t+\Delta t)$ – час, через який можливо здійснити відвантаження готової продукції, яку виготовили за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$;

$tprid_i(t+\Delta t)$ – час придатності готової продукції, яку виготовили за $i$-м замовленням у період $(t+\Delta t)$.

12. Термін зберігання сировини не може перевищувати термін можливого використання і задається формулою (27):

$$tr_k \le tr_k + tvug_k, \tag{27}$$

де $tr_k$ – час надходження сировини;

$tvug_k$ – час, який може зберігатися сировина, яка надійшла у час $tr_k$.

13. Зберігання виготовленої продукції обмежено можливим обсягом зберігання (28):

$$pg_i(t) \le Maxpg_i(t), \tag{28}$$

де $pg_i(t)$ – обсяг $i$-го виду продукції, який виготовлено, але не відвантажено на момент часу *t*;

$Maxpg_i(t)$ – максимальний обсяг $i$-го виду продукції, який може зберігатися на момент часу *t*.

14. Зберігання сировини обмежено можливим обсягом зберігання (29).

$$pr_k(t) \le Maxr_k(t), \tag{29}$$

де $pr_k(t)$ – обсяг *k*-го виду сировини, який присутній на момент часу *t*;

$Maxr_k(t)$ – максимальний обсяг *k*-го виду сировини, який може зберігатися на момент часу *t*.

Вчасне забезпечення ресурсами кожного етапу виробничого процесу сприятиме його неперервності та зменшить час простоїв обладнання.

Розроблена математична модель дає змогу оцінити та побудувати оперативно-календарний план виконання замовлень, а дана задача належить до класу багатокритеріальних NP-складних комбінаторних задач. Складність розв’язання такої задачі зростає з кількістю замовлень, а також зі збільшенням етапів різних варіантів виконання на різних технологічних ланках виробництва.

Вирішення таких задач неможливо здійснити стандартними засобами, тому необхідно застосовувати комбіновані алгоритми та методи.

**У третьому розділі** «Дослідження метаевристичних алгоритмів та розробка модифікованих алгоритмів» детально проаналізовано алгоритми, виділені у першому розділі, та запропоновано їх модифікації.

У роботі запропоновано модифікацію алгоритму «зграї вовків». Кожен агент-вовк відповідає одному варіанту плану виконання замовлень. За основу береться класична версія цього алгоритму, де виділяються вовки «альфа», «бета», «дельта» і «омега». Агенти «альфа», «бета» і «дельта» мають максимально ефективний результат за цільовою функцією або сукупністю обраних критеріїв. Усі інші агенти відносяться до «омега» й модифікуються шляхом заміни послідовності замовлень. Параметрами алгоритму є кількість популяцій, крок зміни в послідовності виконання замовлень. Загальна структура роботи модифікованого алгоритму представлена на рис. 1.

Виділяється «шаблон», що відображає схожі розташування послідовності виконання замовлень для «альфа», «бета» і «дельта» агентів. Модифікація алгоритму полягає у формуванні «омега» вовків на наступну ітерацію за правилом: 2/3 загальної кількості агентів «омега», які максимально співпадають із «шаблоном», змінюють тільки ті позиції розкладу, що не співпадають із шаблоном;

з 1/3 частини «омега» вовків виділяються усі ті, хто не увійшов до перших 2/3 частин і формуються за загальним правилом.

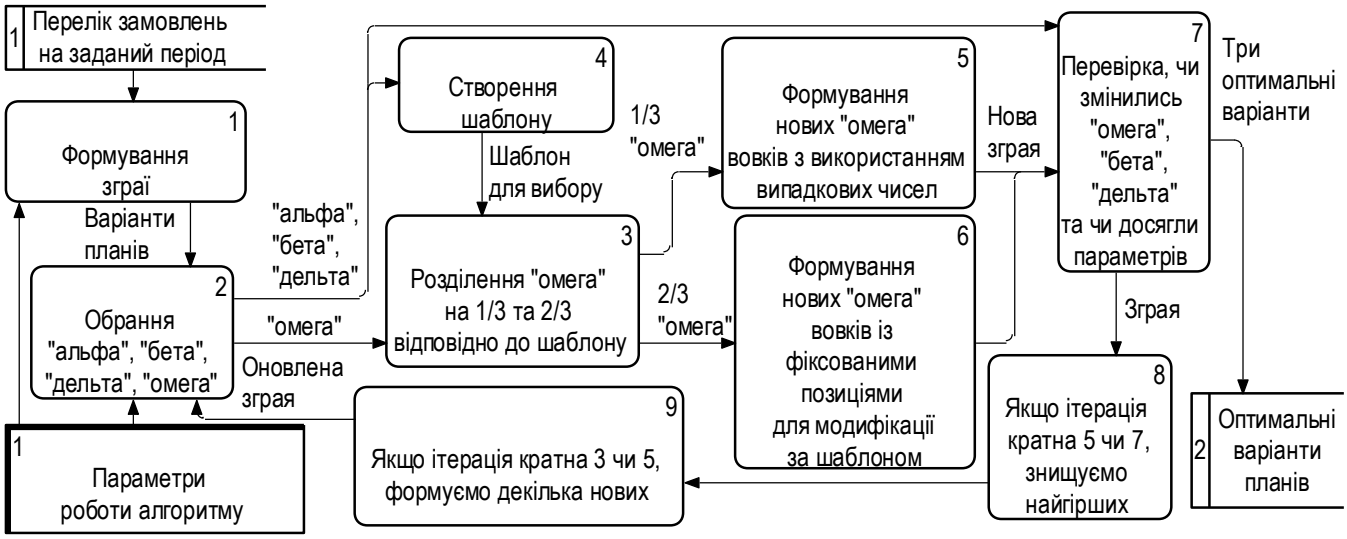


Рисунок 1 – Робота модифікованого алгоритму «зграї вовків»

Пропонується здійснювати розширення популяції вовків на кожній 3-ій та 5-ій ітерації алгоритму при формуванні усіх нових вовків із використанням «шаблону», але, створюючи двох нових, використовуємо коефіцієнт напрямку руху агента для одного -1 , для іншого +1. При цьому необхідно відслідковувати загальну кількість вовків популяції. Також при застосуванні цього підходу на 5-ій та 7-ій ітерації необхідно здійснювати знищення агентів, які мають найгірше значення відповідно до набору критеріїв або загальної оціночної функції. При застосуванні модифікації алгоритму «сірих вовків» достатньо контролювати два основних параметри, а саме розмір популяції і крок, з яким переміщаються вовки.

Запропоновано модифікацію алгоритму «мурашиної колонії». Узагальнена блок-схема наведена на рис. 2.

Як видно з наведеного алгоритму, після того, як був побудований маршрут, отримане рішення додатково покращується з використанням одного з методів локальної оптимізації, а саме методами 2-opt та 3-opt. На початку застосування алгоритму «мурашиної колонії» необхідно вирішити, чи буде автоматично обиратися один із методів 2-opt або 3-opt, чи необхідно використати обидва методи та обрати один із найкращих. Локальна оптимізація за методом 2-opt полягає в тому, що необхідно обрати дві пари елементів розкладу, що не є суміжними, і здійснити їх обмін між собою, потім провести оцінку і залишити найкращий варіант. Якщо після заміни отримуємо найкращий варіант, то залишаємо його. При застосуванні методу 3-opt використовується підхід до методу 2-opt, але обираються 3 пари несуміжних елементів розкладу для заміни їх між собою.

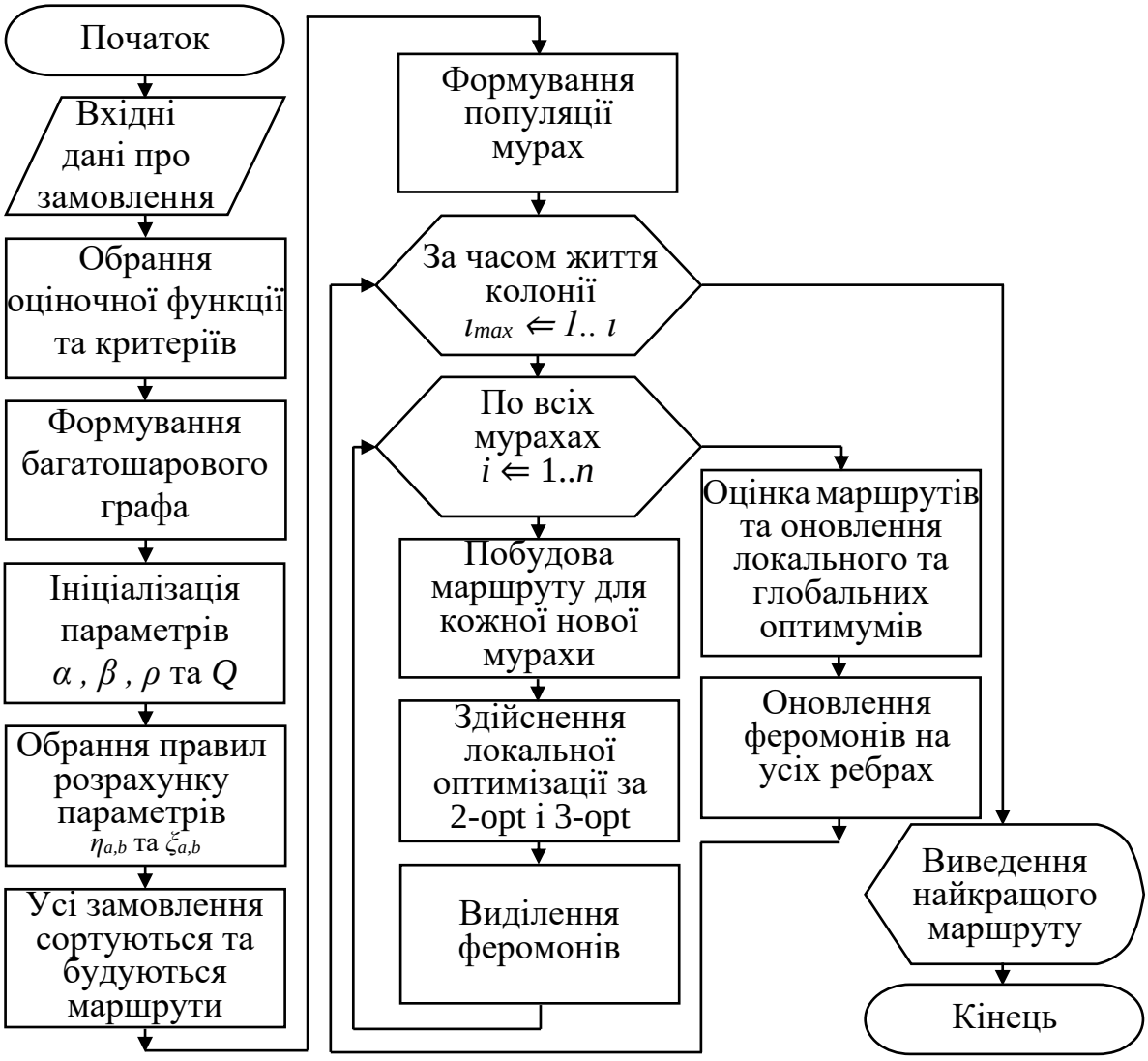


Рисунок 2 – Блок-схема модифікованого алгоритму «мурашиної колонії»

Апробація розглянутих алгоритмів проводилась на різних підприємствах харчової галузі. Для отримання достовірної інформації при застосуванні розглянутих алгоритмів обирались дані за планами виконання замовлень за різні попередні періоди діяльності підприємств. Випадковим чином за різні періоди часу було обрано 25, 50 та 100 замовлень. На початку роботи алгоритмів замовлення розташовувалися у тому ж порядку, як вони надходили на підприємство. Для порівняння алгоритмів спочатку для кожного з них було здійснено підбір параметрів його роботи для обраної вибірки, а потім порівнювались результати роботи алгоритмів. У табл. 1 наведено порівняння застосування алгоритмів.

За результатами дослідження запропоновано модифікації алгоритмів «мурашиної колонії» та «зграї вовків», що дозволяють при їх застосуванні проводити реконфігурацію планів при зменшенні часу пошуку оптимуму майже на 20% у порівнянні з іншими версіями алгоритмів, а у порівнянні зі своїми немодифікованими версіями швидша на 4,45%. Модифікація алгоритму «мурашиної колонії» дозволяє скоротити час за рахунок використання підходів локальної оптимізації, а модифікація алгоритму «зграї вовків» – за рахунок виділення шаблонів із найкращих альтернативних рішень задачі.

Таблиця 1 – Порівняння алгоритмів при 100-та замовленнях

| № п/п | Назва алгоритму | Час пошуку плану, хв | Ефективність знайденого плану | | Скорочення часу виконання замовлень | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | у.о. | % | год | % |
| 1 | Алгоритм «бджолиної колонії» | 7,8 | 2156 | 4 | 3 | 2 |
| 2 | Алгоритм «хаотичного кажана» | 7,7 | 2364 | 4,39 | 3 | 2 |
| 3 | Алгоритм «кажана на основі стратегії пошуку польоту Леві» | 7,55 | 2345 | 4,35 | 3 | 2 |
| 4 | Алгоритм «кажана на основі коефіцієнта скорочення» | 7,6 | 2163 | 4,01 | 3 | 2 |
| 5 | «Генетичний алгоритм» | 7 | 2420 | 4,49 | 6 | 4 |
| 6 | Алгоритм пошуку «косяку риб» | 6,8 | 3523 | 6,99 | 6 | 4 |
| 7 | Алгоритм «зграї вовків» | 6,8 | 3523 | 6,99 | 6 | 4 |
| 8 | Модифікований алгоритм «зграї вовків» | 6,51 | 3523 | 6,99 | 6 | 4 |
| 9 | Алгоритм «мурашиної колонії з використанням елітних мурах» | 6,8 | 3523 | 6,99 | 6 | 4 |
| 10 | Модифікований «алгоритм мурашиної колонії» | 6,51 | 3523 | 6,99 | 6 | 4 |

**У четвертому розділі** «Створення інформаційної технології планування виконання замовлень» запропоновано інформаційну технологію для розв’язання задачі планування виконання замовлень щодо виготовлення продукції на харчових підприємствах на основі модифікованих та комбінованих алгоритмів.

Запропоновано новий комбінований метод на основі алгоритмів «косяку риб» і модифікованого «зграї вовків» для вирішення задач управління та формування плану виконання замовлень (рис. 3).

За рахунок того, що загальна кількість ітерацій розподіляється між різними алгоритмами, відбувається загальне скорочення часу пошуку. Тобто, якщо для здійснення кожного алгоритму необхідно 100 операцій, то для усіх необхідно 200 операцій. На основі проведених експериментів було виявлено, що кількість ітерацій між алгоритмами доцільно розділити у пропорції 30/70. Для алгоритму «косяку риб» виділяється 30 ітерацій, а для алгоритму «зграї вовків» – 70. Таке розподілення підібрано експериментально.

У роботі запропоновано комбінований метод на основі алгоритмів «мурашиної колонії», «зграї вовків» та «генетичного алгоритму». Для отримання первинного плану застосовуємо модифікований алгоритм «мурашиної колонії». Далі застосовуємо модифікований алгоритм «зграї вовків», де обираємо як «альфа», «бета» та «дельта» вовків найкращі варіанти, отримані при застосуванні алгоритму «мурашиної колонії». Якщо за задану кількість ітерацій варіант плану не

покращується, тоді застосовується «генетичний алгоритм». Якщо таке рішення знайдено, воно стає поточним, і починається нова ітерація. На кожній ітерації використання операцій мутації, кросовера та схрещування відбувається швидке отримання нових модифікованих варіантів планів виконання замовлень. Фактично застосування «генетичного алгоритму» забезпечує формування нових альтернативних планів на основі трьох найкращих. При повторному проході через усі алгоритми кількість ітерацій зменшується вдвічі для кожного алгоритму.

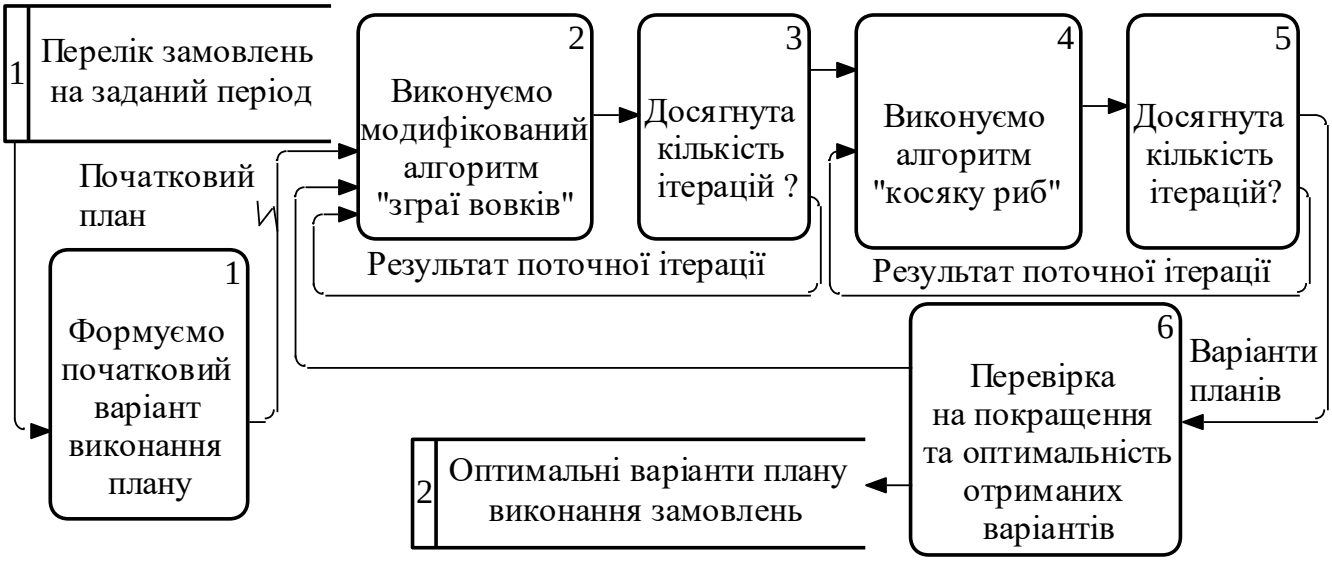


Рисунок 3 – Комбінований метод, заснований на алгоритмах «зграї вовків» та «косяку риб»

Це продовжується до тих пір, поки не буде виконана задана кількість ітерацій. Таким чином, ми отримуємо нові варіанти, до яких застосовується алгоритм «мурашиної колонії». Схема роботи методу представлена на рис. 4.

Рисунок 4 – Комбінований метод, заснований на алгоритмах «мурашиної колонії», «зграї вовків» та «генетичного алгоритму»

Поєднання трьох алгоритмів в один модифікований метод забезпечує знаходження складних варіантів виконання розкладу на багатономенклатурних

підприємствах харчової галузі, що підтверджено результатами випробування на ретроспективних даних за планами виконання замовлень за різні попередні періоди діяльності харчових підприємств.

Розроблена інформаційна технологія забезпечує швидке формування та реконфігурацію плану виконання замовлень при виникненні позаштатних ситуацій або необхідності термінового виконання певного замовлення за рахунок використання модифікованих та комбінованих алгоритмів. Основною особливістю даної технології є забезпечення вирішення задачі планування виконання замовлень різними підходами в діалоговому режимі, що гарантує високий рівень вирішення задачі.

Використання інформаційної технології базується на накопичених даних у базах даних (БД) підприємства та інших інформаційних джерелах (ІД). Для зменшення навантаження на мережу та отримання більш загальної картини на момент часу пропонується актуальну інформацію завантажувати у віртуальне сховище даних, яке вміщує тільки актуальну інформацію для певного проміжку часу. Для кожної окремої задачі визначається «вітрина даних», яка вміщує необхідну інформацію. Завантаження здійснюється засобами завантаження даних, орієнтованих на певне СУБД, на базі якої буде побудовано віртуальне сховище даних. Після використання і за непотрібністю цієї інформації воно очищується. При завантаженні даних водночас усуваються їх надлишковість та повторення. Таке віртуальне сховище даних чимось нагадує велику «вітрину даних», яка складається з окремих розділів для вирішення окремих вузькоспеціалізованих задач.

На рис. 5 наведена основна схема інформаційної технології планування виконання замовлення.

Спочатку відбуваються отримання замовлення та аналіз умов його виконання. Далі виконується класифікація замовлень по групах із використанням алгоритму дерева рішень. У залежності від виду продукції та необхідністю використання певних відділів чи обладнання визначається кількість планів, які будуть виконуватися паралельно. Обирається ряд критеріїв, які будуть враховуватися при розв’язанні та оцінці оптимальності плану виконання замовлень. Застосовується обраний метод чи алгоритм. Після знаходження рішення для наочності оцінки ефективності варіанта виконання замовлень альтернативні плани представляються в табличній формі, а для більшої наочності результат пошуку подається у вигляді діаграми Ганта, що дозволяє візуально оцінити послідовність виконання етапів, а для порівняння оцінки кожного з варіантів використовується пелюсткова діаграма.

Якщо менеджер приймає та затверджує один із варіантів виконання замовлень, то цей варіант приймається й передається до виробничих підрозділів, а прийнятий план записується у базу даних підприємства.

Якщо отримані варіанти виконання замовлень не задовольняють менеджера, тоді здійснюється фіксація певних частин варіантів плану виконання замовлень або штучна заміна послідовності виконання замовлень. У випадку застосування комбінованого методу, заснованого на алгоритмах «мурашиної колонії», «зграї вовків» та «генетичного алгоритму», для формування нових варіантів застосовується «генетичний алгоритм» до найкращих варіантів.

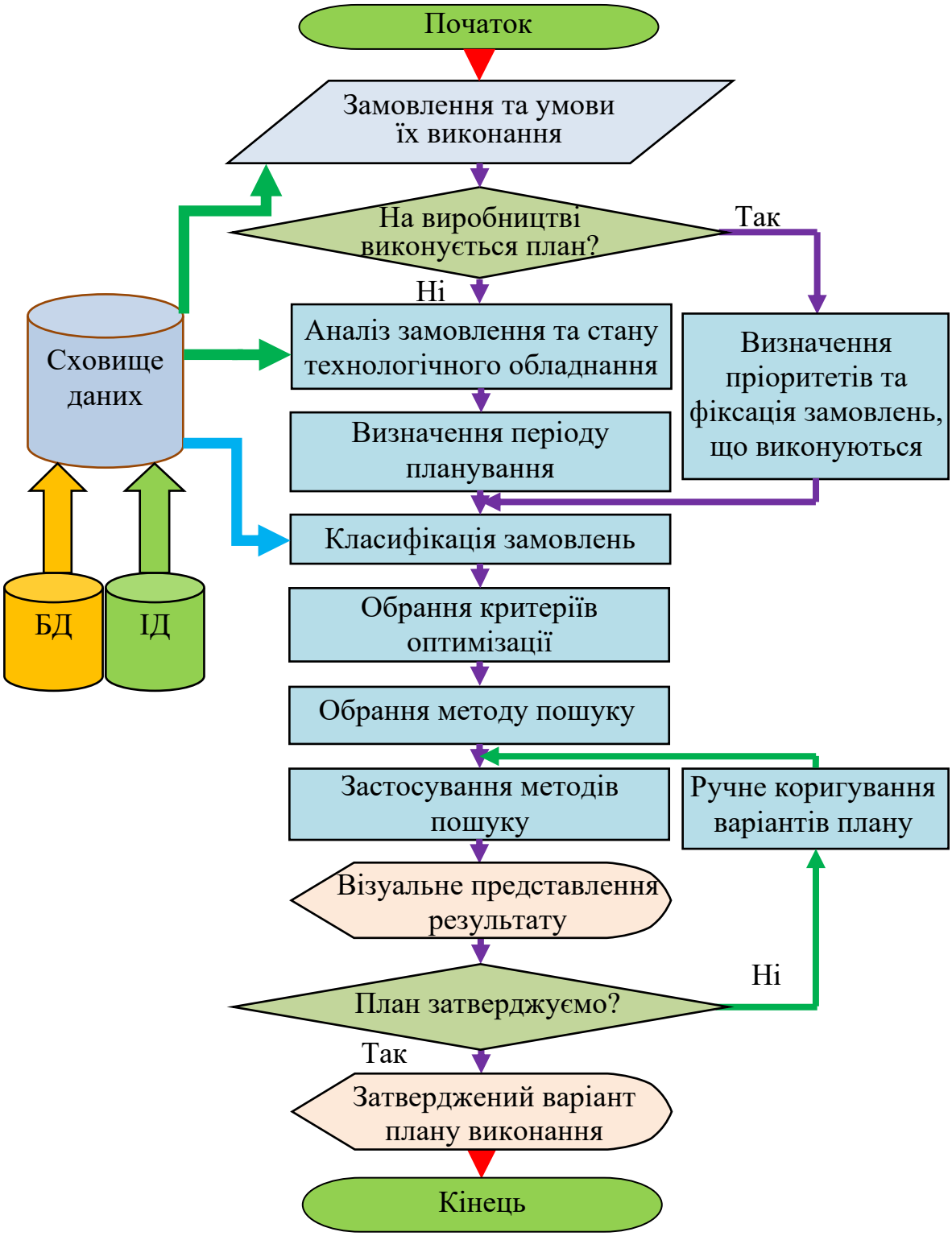


Рисунок 5 – Основна схема інформаційної технології планування виконання замовлення

У табл. 2 відображено порівняльні характеристики застосування різних методів та алгоритмів із використанням інформаційної технології та без неї.

Таблиця 2 – Порівняння застосування різних методів та алгоритмів із використанням інформаційної технології та без неї

| № п/п | Назва алгоритму/методу | Час пошуку плану без використання ІТ, хв | Час пошуку плану з використан-ням ІТ, хв | Ефективність застосування ІТ, % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Алгоритм пошуку «косяку риб» | 10,2 | 7,2 | 40,8 |
| 2 | Алгоритм «зграї вовків» | 10,2 | 7,0 | 44,9 |
| 3 | Модифікований алгоритм «зграї вовків» | 9,8 | 7,0 | 38,9 |
| 4 | Алгоритм «мурашиної колонії з використанням елітних мурах» | 10,2 | 7,2 | 40,9 |
| 5 | Модифікований алгоритм «мурашиної колонії» | 9,8 | 5,8 | 67,4 |
| 6 | Комбінований метод на основі комбінації модифікованого алгоритму «зграї вовків» та алгоритму «косяку риб» | 9,3 | 5,3 | 76,5 |
| 7 | Комбінований метод, заснований на алгоритмах «мурашиної колонії», «зграї вовків» та «генетичного алгоритму» | 7,9 | 4,7 | 66,7 |

З наведених результатів у табл. 2 видно, що використання методів та алгоритмів у складі інформаційної технології забезпечує прискорення пошуку оптимального рішення, що підтверджує тенденцію. У колонці «Ефективність застосування» наведено у відсотках, наскільки ефективним є застосування методів та алгоритмів у складі інформаційної технології.

За результатами апробації є можливість стверджувати, що при застосуванні алгоритмів без технології та з нею швидкість пошуку дуже відрізняється, адже з її використанням швидкість може бути збільшена до 70 %. Використання запропонованої технології дає змогу знайти додаткові альтернативні оптимальні плани виконання замовлень. За рахунок представлення результатів порівняння оптимальних планів у вигляді пелюсткової діаграми людина, що використовує інформаційну технологію, може швидко прийняти рішення в залежності від загальних економіко-соціальних впливів.

Розроблений комбінований метод прийняття рішень на основі алгоритмів «косяку риб» та модифікованого «зграї вовків» стабільно працює на задачах малої та середньої розмірності, а також при 5–6 часткових критеріях.

Запропоновано комбінований метод на основі «мурашиної колонії», «зграї вовків» та «генетичного алгоритму», який стабільно працює на задачах різної розмірності, а також при використанні усіх критеріїв моделі. За швидкістю пошуку він на 10–45% швидший, ніж інші алгоритми.

Важливо зазначити, що результат роботи залежить не лише від кількості замовлень, а й від кількості етапів, які необхідно виконати для виготовлення продукції, а також від кількості варіантів технологічного обладнання.

**У п'ятому розділі** «Проєктування та реалізація web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень» розроблена архітектура гібридної web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень, запропоновано підходи та методи її розробки, обґрунтовано методи та підходи реалізації окремих елементів.

При розробленні web-орієнтованої СППР використано практичну реалізацію клієнт-серверної архітектури у вигляді «тонкого» клієнта, де вся логіка зосереджена на серверній частині, а на користувальницьку частину покладено лише відображення даних. Тобто, результат виконання відображається у браузері користувача. Вибір такої архітектури побудови системи зумовлено такими перевагами: спрощена інтеграція зі сторонніми програмними продуктами; простота впровадження, що пояснюється відсутністю потреби у налаштуванні апаратних чи програмних засобів користувачів; підвищена відмовостійкість, оскільки усе необхідне для роботи програмне забезпечення встановлюється лише на сервері. Запропонована структура дозволяє інтегруватися з існуючими на підприємстві інформаційними системами.

До основних компонентів системи належать (рис. 6): «озеро даних», засоби завантаження даних, сховище даних, бази знань, серверна частина, web-інтерфейс користувача. Важливо зазначити, що інтерфейс користувача виконано у вигляді web-сторінок для відображення у браузері користувача.

Джерелами даних для СД слугують бази даних інформаційних систем та «озеро даних», що забезпечують адекватність та достовірність інформаційного забезпечення для підтримки прийняття управлінських рішень. Накопичення інформації в «озері даних» та у СД відбувається в автоматичному режимі за рахунок використання засобів завантаження даних. Запропоновано обрати багаторівневу архітектуру СД, який забезпечує інтеграцію та узгодження даних із «озера даних» та інших джерел спочатку у «віртуальне сховище даних», а вже звідти буде завантажуватися у «вітрини даних».

При побудові програмної частини використано класичну багатошарову архітектуру з розподіленням на такі складові: шар контролерів, за допомогою яких забезпечується взаємодія із клієнтською частиною; адаптери, на рівні яких здійснюється перетворення даних із запитів клієнтів у основні бізнес-об'єкти, над якими здійснюється подальша обробка; класи, що здійснюють перевірки вхідних даних на відповідність встановленим правилам; бізнес-сервіси, які безпосередньо відповідають за виконання бізнес-логіки; допоміжні інструментальні класи, яким бізнес-сервіси делегують виконання окремих операцій; репозиторії, призначені для безпосередньої роботи з СД.

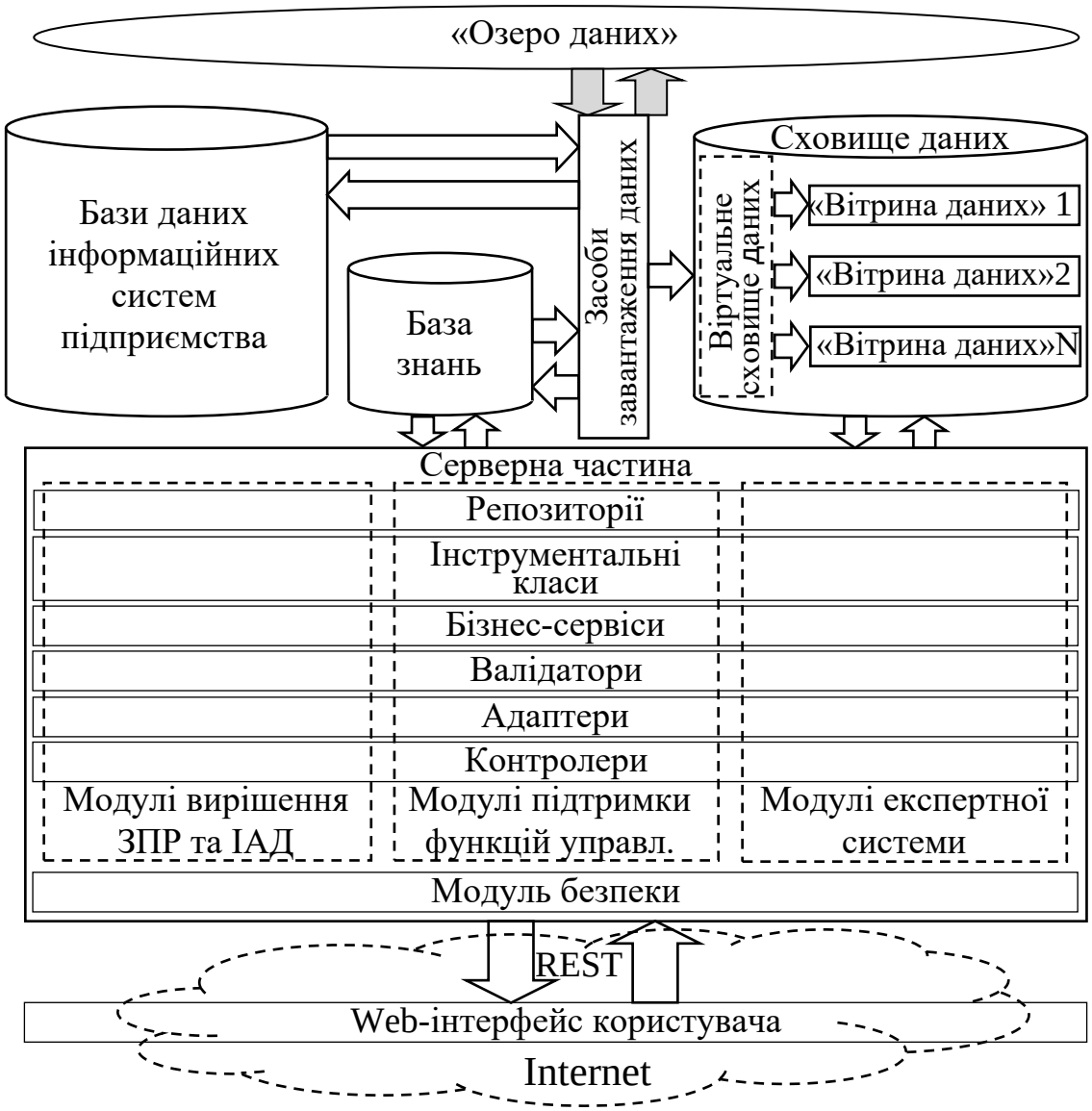


Рисунок 6 – Архітектура гібридної web-орієнтованої СППР

Функціональні можливості серверної частини відповідають потребам користувачів СППР і у загальному вигляді розподілені на модулі, призначені для вирішення конкретних задач. Кожний модуль при виконанні обробки деякого запиту звертається для отримання даних до СД або БЗ. Після проведення обробки даних та необхідних підрахунків результат відображається клієнтською частиною у заданому вигляді. Кількість модулів не регламентується, що забезпечує, у випадку необхідності, модернізацію існуючих та включення нових модулів для вирішення задач прийняття рішень. До основних модулів системи належать: модулі вирішення задач прийняття рішень (ЗПР) та модулі вирішення задач із використанням інтелектуального аналізу даних (ІАД), модулі підтримки функцій управління, які поєднують ведення статистичного обліку та створення звітів, модулі експертної системи.

Запропонована архітектура дає можливість поєднати декілька інформаційних технологій, а саме: технологію планування виконання замовлень, що забезпечує створення та коригування оперативних планів за рахунок використання комбінованих алгоритмів; підходи експертно-моделюючої системи рецептур

виготовлення, що дає можливість підібрати у виробничих умовах заміну компонентів у рецептурі; інформаційну технологію для удосконалення процесу аналізу та планування виконання замовлень, що ґрунтується на визначенні асортименту та коригуванні рецептур для зменшення собівартості та швидкого виконання замовлень.

Обґрунтовано використання технологій та засобів для побудови складових частин СППР. Представлено результати розробки та експлуатації створеної СППР, що дало змогу під час апробації оцінити переваги використання та переконатися у підвищенні ефективності застосування її у виробничих умовах.

У процесі проєктування баз знань, вітрин та сховищ даних запропоновано й обґрунтовано використання специфікації «семантичне версіонування баз даних» для маркування і впровадження автоматизованого оновлення її компонентів та елементів. Обґрунтовано сукупність програмно-технологічних рішень, що входять до моделі web-орієнтованої програмної підсистеми підтримки прийняття рішень, а також підходи реалізації механізмів аутентифікації та авторизації у web-орієнтованих системах. При створенні елементів СППР обґрунтовано використання моделей життєвих циклів програмного забезпечення, які, на відміну від традиційних, мають чітко визначений етап рефакторингу, що забезпечило ефективність розробки та скорочення часу на її розроблення.

Обґрунтовано застосування до процесу створення і супроводу сховищ та «вітрин даних» категорії рефакторингу доступу, яка дає змогу впроваджувати зміни, пов’язані з доступом до даних, без втрати працездатності інформаційної системи.

При використанні СППР відмічено скорочення часу реконфігурації оперативно-календарних планів за короткі проміжки часу при виникненні термінових замовлень та позаштатних ситуацій. Виникнення позаштатних ситуацій обумовлено в перебоях постачання сировини та матеріалів, а також при термінових ремонтно-профілактичних роботах на технологічному обладнанні. Використання СППР забезпечить підвищення техніко-економічних показників підприємства.

## ВИСНОВКИ

Загальним результатом дисертаційного дослідження є вирішення науково-прикладної проблеми підвищення ефективності процесів управління харчовим підприємством шляхом розробки інформаційних технологій підтримки прийняття рішень на основі модифікованих евристичних і еволюційних методів та алгоритмів.

Конкретні одержані результати ти висновки полягають у такому.

1. Розроблено математичну модель процесу планування виконання замовлень, яка, на відміну від традиційних, що передбачають розбиття за рівнями управління та підрозділами виконання, забезпечує оцінку ефективності сформованого варіанта плану з урахуванням зовнішніх та внутрішніх впливів на основі запропонованих часткових критеріїв та зазначених обмежень. Математична модель враховує усі умови діяльності харчового підприємства та процесу планування виконання

замовлень: терміни зберігання сировини та готової продукції; можливість виникнення та необхідність переробки некондиційної продукції; особливості виконання кожного окремого замовлення; особливості використання технологічного обладнання тощо. Для формування узагальненої цільової функції використовується адитивна згортка критеріїв. Розроблена математична модель дозволяє сформувати план виконання замовлень із врахуванням усіх операцій технологічного процесу при виготовленні продукції. Створена математична модель дозволяє коригувати та оцінювати ефективність виконання замовлень у залежності від об'єктивних та суб'єктивних переваг, наданих ОПР, а також забезпечує як урахування, так і виключення певних часткових критеріїв у залежності від певної ситуації.

2. Досліджено застосування таких алгоритмів для розв'язання задачі планування виконання замовлень: алгоритм «бджолиної колонії», алгоритм «хаотичного кажана», алгоритм «кажана на основі стратегії пошуку польоту Леві», алгоритм «кажана на основі коефіцієнта скорочення», «генетичний алгоритм, алгоритм «косяку риб», алгоритм «зграї вовків», модифікований алгоритм «зграї вовків», алгоритм «мурашиної колонії з використанням елітних мурах», модифікований «алгоритм мурашиної колонії». При кількості замовлень менше 25 усі алгоритми знаходять однакові значення, але кращі показники за часом пошуку мають стандартні версії алгоритмів; при кількості замовлень 50 і більше кращі показники мають модифіковані алгоритми. За результатами дослідження запропоновано модифікації алгоритмів «мурашиної колонії» та «зграї вовків», які дозволяють при їх застосуванні проводити реконфігурацію планів при зменшенні часу пошуку оптимуму майже на 20% у порівнянні з іншими версіями алгоритмів. При використанні немодифікованих версій час пошуку оптимуму збільшується на 4,5%. Модифікація алгоритму «мурашиної колонії» дозволяє скоротити час за рахунок використання підходів локальної оптимізації, а модифікація алгоритму «зграї вовків» – за рахунок виділення шаблонів із найкращих альтернативних рішень задачі.

3. Розроблено комбінований метод прийняття рішень на основі алгоритмів «косяку риб» та модифікованого алгоритму «зграї вовків», який стабільно працює на задачах малої та середньої розмірності й дає зменшення часу пошуку до 35% при умові врахування до 5–6 часткових критеріїв. У багатокритеріальних випадках комбінований метод забезпечує прискорення пошуку на 33,9% у порівнянні з модифікованим алгоритмом «зграї вовків», на 35,1% у порівнянні з алгоритмом «мурашиної колонії», на 33,8% у порівнянні з алгоритмом «косяку риб». Тому запропонований комбінований алгоритм доцільно застосовувати для підприємств із невеликим асортиментом та з мінімальним парком технологічного обладнання, адже він має більшу ефективність при пошуку обмежено критеріальних альтернативних оптимальних планів (до 5–6 часткових критеріїв оптимальності). Тобто, для підприємств, що використовують автоматизовані технологічні комплекси, які забезпечують серійне виготовлення продукції.

4. Розроблено комбінований метод на основі алгоритмів «мурашиної колонії», «зграї вовків» та «генетичного алгоритму», який стабільно працює на багатокритеріальних задачах різної розмірності й має швидкість пошуку на 10–45%

більшу, ніж інші алгоритми. За інформацією, отриманою після проведення експериментів, є підстави стверджувати, що для багатокритеріальних задач комбінований метод забезпечує більш швидший пошук, ніж усі інші алгоритми. Його доцільно застосовувати для підприємств, які виготовляють великий асортимент багатокомпонентних видів продукції і потребують складних технологічних операцій, розрізнених за певними ділянками виробництва.

5. Розроблена інформаційна технологія планування виконання замовлень, яка забезпечує формування та оперативну реконфігурацію планів за короткий період часу за рахунок поєднання інтелектуального аналізу даних для попередньої класифікації, а також використання модифікованих алгоритмів та методів, які базуються на комбінуванні алгоритмів. Запропонована технологія дає можливість підібрати сукупність алгоритмів та методів, адекватну для певної предметної області. Використання інтелектуального аналізу даних забезпечує збільшення швидкості знаходження рішень за рахунок аналізу даних за попередні періоди, що дає змогу виявити найкращі послідовності використання конкретного технологічного обладнання для виготовлення продукції згідно з актуальними замовленнями. Застосування запропонованої технології дає змогу знайти додаткові альтернативні оптимальні плани виконання замовлень, а представлення результатів їх порівняння у вигляді наочної пелюсткової діаграми допомагає відповідальній особі швидко прийняти ефективне рішення.

6. Розроблено архітектуру гібридної web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень, яка реалізує запропоновану інформаційну технологію і базується на гнучкій інтеграції в «озері даних» інформації із статистичних та експертних джерел. Запропонована архітектура дає можливість поєднати декілька інформаційних технологій, а саме: технологію планування виконання замовлень, що забезпечує створення та коригування оперативно-календарних планів за рахунок використання модифікованих та комбінованих алгоритмів; підходи експертно-моделюючої системи рецептур виготовлення, що дає можливість підібрати у виробничих умовах заміну компонентів у рецептурі; технологію для удосконалення процесу аналізу та планування виконання замовлень на харчових підприємствах, яка, на відміну від відомих, ґрунтується на визначенні асортименту та коригуванні рецептур для зменшення собівартості та швидкого виконання замовлень.

7. Формалізовано процес створення системи підтримки прийняття рішень із застосуванням спіральної моделі розробки програмного забезпечення, в якій, на додаток до традиційної, чітко визначено місце проведення рефакторингу, що дає можливість скорочення часу на розробку та підвищення ефективності розробки в цілому. Обґрунтовано застосування категорії «рефакторингу доступу», яка дає змогу впроваджувати зміни, пов’язані з доступом до даних, при адмініструванні сховища та «вітрин даних» без втрати працездатності системи. У процесі проєктування баз знань, вітрин та сховищ даних використано підходи щодо маркування та автоматизованого впровадження оновлення їх компонентів і елементів за рахунок застосування категорії рефакторингу доступу та специфікації семантичного версіонування баз даних, що забезпечило підвищення якості та скорочення часу розробки.

8. Результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію та передані на ТОВ «Слобожанський бекон», ТОВ «Продеко», ТОВ «Козятинський м’ясокомбінат», ТОВ «Лайм Системс», ТОВ «Феракс», ПрАТ «Оболонь» для розв'язання задачі планування виконання замовлень, що підтверджено відповідними актами та довідками. Результати дисертаційного дослідження впроваджено у навчальний процес Національного університету харчових технологій при викладанні дисципліни «Управління ІТ-проєктами» для здобувачів освіти ступеня бакалавр за спеціальністю 122 – комп’ютерні науки освітньо-професійної програми «Комп’ютерні науки», дисципліни «Клієнт-серверні технології» для здобувачів освіти ступеня магістр за спеціальністю 122 – комп’ютерні науки освітньо-професійних програм «Інформаційні управляючі системи та технології» та «Комп’ютерний еколого-економічний моніторинг».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:


1. Грибков С. В., Кононова В. О., Харкянен О. В. Оцінка засобів захисту інформаційних ресурсів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні системи та мережі.* 2014. № 806. С. 99–105. *Бази: Google Scholar, Index Copernicus International.*
2. Грибков С. В., Загоровська Л. Г. Використання CA Erwin Model Manager для моделювання структури сховища даних. *Наукові праці НУХТ.* 2014. № 6, Т. 20. С. 125–130. *Бази: Index Copernicus, EBSCOhost, Google Scholar.*
3. Грибков С. В., Харкянен О. В., Логвин Т. В. Дослідження пакетів програмних модулів для ідентифікації динамічних об'єктів. *Технологічний аудит та резерви виробництва.* 2015. № 25 (5/2). С. 42–49. *Бази: EBSCO, 1findr, Directory of Open Access Journals (DOAJ), EconBiz, IDEAS, ERIH PLUS (The European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences), FSTA, OpenAIRE, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Index Copernicus Journals Master List, Наукова періодика України – проєкт Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського (НБУВ), Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, CrossRef.*
4. Грибков С. В., Литвинов В. В., Олійник Г. В. Задача планування виконання договорів та підходи до її ефективного вирішення. *Математичні машини і системи.* 2015. № 1. С. 61–70. *Бази: РИНЦ(eLIBRARY), CrossRef, Google Scholar, ВІНІТІ РАН.*
5. Hrybkov S. V., Oliinyk H. V. Modeling of the decision support system structure in the planning and controlling of contracts implementation. *Ukrainian Journal of Food Science.* 2015. N 3 (1). P. 123–130. *Бази: EBSCO, Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI), Food Science and Technology Abstracts (FSTA), Index Copernicus International, Ulrichsweb, Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), Google Scholar.*

6. Грибков С. В., Харкянен О. В., Пархоменко І. І. Прогнозування стану технологічного обладнання харчового підприємства методом сингулярного спектрального аналізу. *Вісник інженерної академії України.* 2015. № 3. С. 87–91. *Бази: Innovative Journal Impact Factor (IIJIF), Google Scholar.*

7. Грибков С. В., Харкянен О. В., М'якшило О. М. Моделювання процесу моніторингу та планування собівартості продукції багатономенклатурного харчового підприємства. *Наукові праці НУХТ.* 2015. № 6, Т. 21. С. 100–108. *Бази: Index Copernicus, EBSCOhost, Google Scholar.*

8. Грибков С. В., Загоровская Л. Г., Бондарь Н. П., Губеня В. А. Анализ и реинжиниринг процесса планирования закупок для предприятий ресторанного хозяйства. *Весник Алмаатинского технологического университета*. 2015. № 4 (109). С. 31-36. *Бази: CrossRef, РИНЦ(eLIBRARY).*

9. Грибков С. В., Маковецька С. В., М'якшило О. М. Дослідження та математичне моделювання процесу постачання сировини на цукровий завод з врахуванням генетико-детермінованих властивостей цукрових буряків. *Наукові праці НУХТ.* 2016. № 6, Т. 22. С. 7–15. *Бази: Index Copernicus, EBSCOhost, Google Scholar.*

10. Грибков С. В., Литвинов В. А., Олійник Г. В. Обрання програмної платформи для побудови модуля безпеки web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Автоматика, вимірювання та керування.* 2016. № 852. С. 137–142. *Бази: РИНЦ(eLIBRARY), Google Scholar, Index Copernicus International.*

11. Грибков С. В., Павелко В. І., Заславський А. І., Дмитренко Д. С. Математичне моделювання процесу термічної обробки м'ясних виробів. *Харчова промисловість.* 2016. № 20. С. 115–120. *Бази: Google Scholar, Index Copernicus International.*

12. Грибков С. В., Олійник Г. В. Модифікований АСО алгоритм побудови календарного плану виконання договорів. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Технічні науки.* 2017. № 15. С. 156–162. *Бази: Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Citefactor, Cosmos Impact Factor, The Journals Impact Factor (JIF),General Impact Factor (GIF), Google Scholar, InfoBase Index, International Citation Index OF JOURNAL IMPACT FACTOR & INDEXING, Open Access Infrastructure for Research in Europe (OpenAIRE), Public Knowledge Project (PKP), ResearchBib, Scientific Indexing Services (SIS), WorldCat.*

13. Грибков С. В., Маковецька С. В. Функціональне моделювання організації та управління забезпечення сировиною цукрового заводу. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Техніка та енергетика АПК*. 2017. № 286. С. 100–111. *Бази: Directory of Open Access Journals (DOAJ), CrossRef.*

14. Грибков С. В., Олійник Г. В. Використання JWT-маркерів для аутентифікації та авторизації користувачів у web-додатках. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Автоматика, вимірювання та керування.* 2017. № 880. С 60–67. *Бази: РИНЦ(eLIBRARY), Google Scholar, Index Copernicus International.*

15. Hrybkov S. V., Breus N. M., Polischuk G. Ye. Hybrid expert system to model the ice cream recipes. *Ukrainian Journal of Food Science.* 2017. № 5 (2). P. 294–304. *Бази: EBSCO, Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI), Food Science and Technology Abstracts (FSTA), Index Copernicus International, Ulrichsweb, Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), Google Scholar.*

16. Hrybkov S. V., Kharkianen O. V., Myakshylo O. M., Kostikov M. P. Development of information technology for supporting the process of adjustment of the food enterprise assortment. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. 2018. N 3 (91). P. 77–87. *Бази: Scopus, CrossRef, Index Copernicus International, Applied Science & Technology Source, Chemical Abstracts Plus (CAplus), Computers & Applied Sciences Complete, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Google Scholar, Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), MIAR, 1findr, OpenAIRE (Open Access Infrastructure for Research in Europe), Polska Bibliografia Naukowa (PBN), WorldCat, Scientific Periodicals of Ukraine (SPU VNLU), Bielefeld Academic Search Engine (BASE), China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Scilit, WorldWideScience.org, Zeitschriftendatenbank (ZDB), ResearchBib, EuroPub, JournalTOCs, Dimensions, Scientific Indexing Services (SIS), The General Impact Factor (GIF), Genamics JournalSeek, SHERPA RoMEO, Ulrich's Periodicals Directory, CORE (COnnecting REpositories), Neliti, Socionet, Researchgate, ERIH PLUS, Lens, Korea Open Access Platform for Researchers (KOAR), Microsoft Academic, Paperity, Root Society, Wizdom.ai, KindCongress.*

17. Грибков С. В., Струзік В. А., Литвин А. О. Дослідження методів і підходів проведення рефакторингу баз даних. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2018. № 30. С. 151–155. *Бази: РИНЦ(eLIBRARY), Universal Impact Factor, Open Academic Journals Index.*

18. Hrybkov S. V., Litvinov V. V., Oliinyk H. V. Web-oriented decision support system for planning agreements execution. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. 2018. N 2 (93). P. 13–24. *Бази: Scopus, CrossRef, Index Copernicus International, Applied Science & Technology Source, Chemical Abstracts Plus (CAplus), Computers & Applied Sciences Complete, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Google Scholar, Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), MIAR, 1findr, OpenAIRE (Open Access Infrastructure for Research in Europe), Polska Bibliografia Naukowa (PBN), WorldCat, Scientific Periodicals of Ukraine (SPU VNLU), Bielefeld Academic Search Engine (BASE), China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Scilit, WorldWideScience.org, Zeitschriftendatenbank (ZDB), ResearchBib, EuroPub, JournalTOCs, Dimensions, Scientific Indexing Services (SIS), The General Impact Factor (GIF), Genamics JournalSeek, SHERPA RoMEO, Ulrich's Periodicals Directory, CORE (COnnecting REpositories), Neliti, Socionet, Researchgate, ERIH PLUS, Lens, Korea Open Access Platform for Researchers (KOAR), Microsoft Academic, Paperity, Root Society, Wizdom.ai, KindCongress.*

19. Грибков С. В., Бойко Р. О. Мережеві структури при керуванні складними організаційно-технічними (технологічними) системами. *Харчова промисловість*. 2019. № 25. С. 116–123. *Бази: Google Scholar, Index Copernicus International.*

20. Струзік В. А., Грибков С. В., Чобану В. В. Визначення місця рефакторингу в сучасних методологіях розробки інформаційних систем. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Технічні науки*. 2019. № 5, Т. 30 (69). С. 173–177. *Бази: РИНЦ(eLIBRARY), Index Copernicus International.*

21. Hrybkov S. V., Breus N. M., Seidykh O. L., Polischuk G. Ye. Development of mathematical apparatus of the expert system for modelling ice cream recipes with specified quality parameters. *Science and innovation.* 2019. Vol. 15 (5). P. 57–66. *Бази: Web of Science, Scopus, Directory of Open Access Journals (DOAJ), CrossRef, EuroPub, Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus International.*

22. Hrybkov S. V., Kharkianen O. V., Ovcharuk V. O., Ovcharuk I. Development of information technology for planning order fulfillment at a food enterprise. *Eastern-european journal of enterprise technologies.* 2020. N 3 (103). P. 62–73. *Бази: Scopus, CrossRef, Index Copernicus International, Applied Science & Technology Source, Chemical Abstracts Plus (CAplus), Computers & Applied Sciences Complete, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Google Scholar, Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), MIAR, 1findr, OpenAIRE (Open Access Infrastructure for Research in Europe), Polska Bibliografia Naukowa (PBN), WorldCat, Scientific Periodicals of Ukraine (SPU VNLU), Bielefeld Academic Search Engine (BASE), China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Scilit, WorldWideScience.org, Zeitschriftendatenbank (ZDB), ResearchBib, EuroPub, JournalTOCs, Dimensions, Scientific Indexing Services (SIS), The General Impact Factor (GIF), Genamics JournalSeek, SHERPA RoMEO, Ulrich's Periodicals Directory, CORE (COnnecting REpositories), Neliti, Socionet, Researchgate, ERIH PLUS, Lens, Korea Open Access Platform for Researchers (KOAR), Microsoft Academic, Paperity, Root Society, Wizdom.ai, KindCongress.*

23. Грибков С. В., Литвинов В. В., Олійник Г. В. Інструментальна модель веб-орієнтованої програмної реалізації підсистеми підтримки прийняття рішень у складі програмного комплексу ситуаційного центру. *Математичні машини і системи.* 2020. № 1. С. 73–81. *Бази: РИНЦ(eLIBRARY), CrossRef, Google Scholar, ВІНІТІ РАН.*

24. Грибков С. В., Струзік В. А., Чобану В. В. Категорія рефакторинг доступу. *Наукові праці НУХТ.* 2020. № 2, Т. 26. С. 31–49. *Бази: Index Copernicus, EBSCOhost, Google Scholar.*

25. Грибков С. В., Струзік В. А., Чобану В. В. Специфікація семантичного версіонування бази даних. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Технічні науки.* 2020. № 2, Т. 31 (70). С. 196–201. *Бази: РИНЦ(eLIBRARY), Index Copernicus International.*

26. Грибков С. В., Сєдих О. Л. Розробка СППР управління виробництвом. *Almanahul SWorld.* 2020. № 4 (1). С. 52–56. *Бази: Google Scholar, Index Copernicus International.*

27. Hrybkov S. V., Seidykh O. L. Manufacturing management methods at the expense of using bat algorithm. *Modern engineering and innovative technologies.* 2020. Issue 12 (3). P. 68–73. *Бази: Google Scholar, Index Copernicus International.*

28. Hrybkov S. V., Seidykh O. L. Hybrid algorithm based on fish school search and grey wolf optimizer algorithms for food enterprise management. *European science review.* Vienna: Premier Publishing s.r.o, 2020. N 7–8. P. 19–22. *Бази:РИНЦ(eLIBRARY), CrossRef, CyberLeninka, EBSCOhost, Google Scholar, Index Copernicus International.*

29. Hrybkov S. V., Struzik V. A., Chobanu V. V. Evolution of refactoring. *The Austrian Journal of Technical and Natural Sciences.* Vienna: Premier Publishing s.r.o, 2020. N 7–8 P. 11–16. *Бази: РИНЦ(eLIBRARY), CrossRef, CyberLeninka, EBSCOhost, Google Scholar, OpenAIRE, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat.*

30. Hrybkov S. V., Kharkianen O. V., Gladka Y. U. Finding the best versions of schedule for order fulfillment at food companies. *MIND journal Semiannual.* Poland : Bielsko-Biała. 2020. N 9. P. 1–12. *Бази: Index Copernicus International, BuzHul.*

31. Hrybkov S. V., Seidykh O. L. Solution of control tasks using bat algorithm modifications. *Modern engineering and innovative technologies.* 2020. Issue 13 (2). P. 60–64. *Бази: Google Scholar, Index Copernicus International.*

32. Грибков С. В., Сєдих О. Л. Розробка модифікованих ітераційних алгоритмів для розв'язання задачі формування оптимальних варіантів розкладу виконання замовлень. *Харчова промисловість.* 2020. № 27. С. 126–137. *Бази: Google Scholar, Index Copernicus International.*

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

33. Грибков С. В., Олійник Г. В. Високопродуктивні пакети завантаження даних до сховища даних. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: матеріали 81 міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів (м. Київ, 23–24 квітня 2015 р.). Київ: НУХТ, 2015. Ч. 2. С. 356.

34. Грибков С. В., Нерадович М. С., Олійник Г. В. Використання методу бджолиного рою при формуванні оптимального розкладу виконання замовлень. *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами:* матеріали II міжнар. наук.-техн. конф. Київ : НУХТ, 2015. С. 194.

35. Грибков С. В., Воловик О. О. Web-орієнтована інформаційна система підтримки контролю якості сировини та готової продукції. *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами:* матеріали III міжнар. наук.-техн. конф. Київ: НУХТ, 2016. С. 219.

36. Hrybkov S. V., Ollinyk H. V., Litvinov V. V. Decision support system for the contracts execution planning based on genetic algorithms and collective mind algorithms. *Food Science for Well-being (CEFood 2016):* Book of Abstracts of 8th Central European Congress on Food (Kiyv, 23–26 May 2016). Kiyv: NUFT, 2016. P. 58.

37. Грибков С. В., Буряченко М. М., Харкянен О. В. Використання еволюційних методів для формування виробничої програми харчового підприємства. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у*

*XXI столітті*: матеріали 83 міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів (м. Київ, 5–6 квітня 2017 р.). Київ, 2017. С. 285.

38. Грибков С. В., Буряченко М. М. Використання середовища R для аналізу та виявлення причин виникнення некондиційної продукції у макаронному виробництві. *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи):* матеріали 4 міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 16–18 травня 2017 р.). Київ-Черкаси: ВПЦ «Київський університет», 2017. С. 204–205.

39. Грибков С. В., Олійник Г. В. Розробка web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень при плануванні виконання договорів. *Автоматика–2017:* матеріали XXIV міжнар. конф. з автоматичного управління (м. Київ, 13–15 вересня 2017 р.). Київ: НУБіП, 2017. С. 192–193.

40. Грибков С. В., Олійник Г. В. Web-орієнтована система підтримки прийняття рішень планування виконання договорів. *Проблеми інформатизації:* міжнар. наук-техн. конф.: зб. тез. Київ: ДУТ, 2017. С. 239.

41. Грибков С. В., Струзік В. А., Литвин А. О. Використання еволюційного підходу при рефакторингу баз даних. *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами:* матеріали IV міжнар. наук.-техн. Internet-конф. (м. Київ, 22 листопада 2017 р.). Київ: НУХТ, 2017. С. 281.

42. Hrybkov S. V., Struzik V. A., Lytvyn A. O., Chobanu V. V. Study Of The Methods And Approaches Of Databases Refactoring. *Програмовані логічні інтегральні схеми та мікропроцесорна техніка в освіті і виробництві:* зб. тез міжнар. наук.-практ. семінару молодих вчених та студентів. Луцьк: Вежа-Друк, 2018. С. 12–13.

43. Грибков С. В., Ольшевська М. А. Підсистема підтримки діяльності начальника виробництва макаронного підприємства ТОВ «Продеко». *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті:* матеріали 84 міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів (м. Київ, 23–24 квітня 2018 р.). Київ: НУХТ, 2018. Ч. 2. С. 337.

44. Грибков С. В., Фурта О. О. Використання інтелектуального аналізу даних для планування виготовлення продукції на ТОВ «Слобожанський бекон». *Проблеми інформатизації:* матеріали XII міжнар. наук.-техн. конф. Київ: ДУТ, НТУ; Полтава: ПНТУ; Катовице: КЕУ; Париж: Університет Париж VII Вєнсент-Сен-Дені; Вільнюс: ВДТУ; Харків: ХНДІТМ; Білорусь: БДАЗ, 2018. С. 28–29.

45. Грибков С. В., Олійник Г. В., Чернишов І. Використання модифікованих методів мурашиного алгоритму для розв’язку задачі формування розкладу. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: матеріали 85 Ювілейної міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, присвяченої 135-річчю НУХТ (м. Київ, 11–12 квітня 2019 р.). Київ : НУХТ, 2019. Ч. 2. С. 435.

46. Грибков С. В., Ольшевська М. А. Створення інформаційної системи підтримки управління виробництва макаронних виробів. *LXXV наук. конф. професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: зб. тез. Київ: НТУ, НУХТ, 2019. Т. 2. С. 462.

47. Грибков С. В., Фурта О. О. Підсистема підтримки прийняття рішення головного технологу ТОВ «Слобожанський бекон». *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами*: матеріали VI міжнар. наук.-техн. Internet-конф. (м. Київ, 20 листопада 2019 р.). Київ: НУХТ, 2019. С. 176.

48. Грибков С. В., Чорнобай К. Ю. Дослідження та проектування підсистеми управління молочним балансом молокозаводу. *Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій*: наук. праці Другої міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 19 грудня 2019 р.). Київ: НУХТ, 2019. С. 298–302.

49. Грибков С. В., Сєдих О. Л., Ольшевська М. А. Дослідження та розроблення СППР управління виробництвом ТОВ «Продеко». *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: матеріали 86 міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів (м. Київ, 2–3 квітня 2020 р.). Київ: НУХТ, 2020. Ч. 2. С. 403.

50. Hrybkov S. V., Seidykh O. L. Combined algorithm based on algorithms for kosyake fish and gray wolves for solving complex problems. *Sworld-Us conference proceedings: conf. proceed. of Global scien. and educ. in the modern real.* Washington, USA: «ISE&E» & SWorld in conjunction with KindleDP Seattle, 2020. P. 54–57.

**Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

51. Грибков С. В., Балашева А. М. Дослідження і створення веб-орієнтованої СППР при управлінні розвитку компанії ТОВ «Доктор Філін». *Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій:* матеріали I міжнар. наук.-практ. конф. (м. Краків, 7–8 лютого 2019 р.). Краків, Польща, 2019. С. 120–123.

52. Грибков С. В., Литвинов В. В., Олійник Г. В. До проблеми типізації проектних рішень у сфері програмної реалізації підсистем ситуаційного центру. *Цифрова економіка та інформаційні технології*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 15–16 квітня 2020 р.). Київ: ДУІТ, 2020. С. 37–38.

53. Грибков С. В., Литвинов В. В., Олійник Г. В. Инструментальная модель подсистемы поддержки принятия решений. *Математичне та імітаційне моделювання систем:* матеріали XV міжнар. наук.-прак. конф. (м. Чернігів, 29 червня – 01 липня 2020 р.). Чернігів, 2020. С. 212–214.

## АНОТАЦІЯ

**Грибков С. В. Інформаційні технології прийняття рішень на основі модифікованих евристичних і еволюційних методів та алгоритмів для харчових підприємств.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ, 2021.

Загальним результатом дисертаційного дослідження є вирішення науково-прикладної проблеми підвищення ефективності процесів управління харчовим підприємством шляхом розробки інформаційних технологій підтримки прийняття рішень на основі модифікованих евристичних і еволюційних методів та алгоритмів. У роботі розроблено математичну модель процесу планування виконання замовлень. У роботі запропоновано модифікації алгоритмів «мурашиної колонії» за рахунок використання підходів локальної оптимізації, а «зграї вовків» - за рахунок виділення шаблонів із найкращих альтернативних рішень задачі. Розроблено комбінований метод прийняття рішень на основі алгоритмів «косяку риб» та модифікованого алгоритму «зграї вовків». Розроблено комбінований метод на основі алгоритмів «мурашиної колонії», «зграї вовків» та «генетичного». Розроблено архітектуру гібридної web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень, в основі якої використовується створена інформаційна технологія планування виконання замовлень за рахунок поєднання інтелектуального аналізу даних та модифікованих алгоритмів і методів.

**Ключові слова:** управління харчовим підприємством, прийняття рішень, системи підтримки прийняття рішень, планування виконання замовлень, комбіновані алгоритми, комбіновані методи прийняття рішень, інформаційна технологія.

## АННОТАЦИЯ

**Грибков С. В. Информационные технологии принятия решений на основе модифицированных эвристических и эволюционных методов и алгоритмов для пищевых предприятий.** – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, Киев, 2021.

Общим результатом исследования является решение научно-прикладной проблемы повышения эффективности процессов управления пищевым предприятием путем разработки информационных технологий поддержки принятия решений на основе модифицированных эвристических и эволюционных методов и алгоритмов. В работе разработана математическая модель процесса планирования

выполнения заказов. В работе предложены модификации алгоритмов «муравьиной колонии» и «стаи волков». Модификация алгоритма «муравьиной колонии» позволяет сократить время за счет использования подходов локальной оптимизации, а модификация алгоритма «стаи волков» – за счет выделения шаблонов из лучших альтернативных решений задачи. Разработан комбинированный метод принятия решений на основе алгоритмов «косяка рыб» и модифицированного алгоритма «стаи волков». Разработан комбинированный метод на основе алгоритмов «муравьиной колонии», «стаи волков» и «генетического». Разработана архитектура гибридной web-ориентированной системы поддержки принятия решений, в основе которой используется созданная информационная технология планирования выполнения заказов за счет сочетания интеллектуального анализа данных и модифицированных алгоритмов и методов.

**Ключевые слова:** управление пищевым предприятием, принятие решений, системы поддержки принятия решений, планирование выполнения заказов, комбинированные методы, комбинированные методы принятия решений, информационные технологии.

## ABSTRACT

**Hrybkov S.V. Information technology of the decision making based on modified heuristic and evolutionary methods and algorithms for food companies.** – Qualification scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Engineering Sciences in specialty 05.13.06 – information technology. – The Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The main result of the dissertation research is the solution of the scientific applied problem of increasing the efficiency of food enterprise management processes by developing information technology to support decision making on the basis of modified heuristic and evolutionary methods and algorithms.

The thesis develops a mathematical model of the order execution planning process, which, in contrast to the traditional models, provides a breakdown by management levels and departments, as well as an assessment of the plan effectiveness, taking into account external and internal influences based on the proposed partial criteria and constraints. The mathematical model takes into account all the conditions of the food company and the order execution planning process. These conditions include: the shelf life of raw materials and finished products; the possibility of occurrence and the need to process substandard products; features of execution of each order; features of using technological equipment, etc.

The paper proposes modifications of an «ant colony» and a «wolf pack» algorithms, the application of which allows reconfiguration of the plans while reducing the time necessary to find the optimum. Modification of the «ant colony» algorithm reduces time

by using local optimization approaches, modification of the «wolf pack» algorithm – by selecting templates from the best alternative solutions to the problem.

A combined decision-making method based on a «fish shoal» and a modified «wolf pack» algorithms has been developed. This method works stably for small and medium-sized problems and reduces the search time, provided that up to 5-6 partial criteria are taken into account.

A combined method based on «ant colony» and «wolf pack» algorithms, as well as on a «genetic» algorithm has been developed. The method stably works for multi-criteria problems of different dimensions. It is advisable to use it for companies that manufacture a wide range of multicomponent products and require complex technological operations, separated by certain areas of production.

An information technology for order execution planning, which provides the formation and operational reconfiguration of plans in a short period of time through a combination of data mining for pre-classification, as well as the use of modified algorithms and methods based on a combination of algorithms, is developed in the thesis. The proposed technology makes it possible to select a set of algorithms and methods adequate for a particular subject area. The use of data mining provides an increase in the speed of finding solutions through data analysis for previous periods which allows to identify the best sequences of the use of specific technological equipment for the manufacture of products according to current orders. The application of this technology allows to find additional alternative optimal plans for the execution of orders, and the presentation of the results of their comparison in the form of a visual petal diagram helps the responsible person to make an effective decision quickly.

An architecture of a hybrid web-based decision support system has been developed. It implements the proposed information technology and is based on flexible integration in the data lake from statistical and expert sources. The proposed architecture makes it possible to combine the following information technologies: an order planning technology which provides the creation and adjustment of operational and calendar plans through the use of modified and combined algorithms; approaches of expert-modeling system of manufacturing recipes that gives the chance to pick up in production conditions replacement of components in a compounding; a technology to improve the process of analysis and planning of orders at food companies which, in contrast to the known ones, is based on determining the range and adjusting recipes to reduce costs and fast execution of orders.

The process of creating a decision support system using a spiral model of software development has been formalized. In addition to the traditional one, the place of refactoring in such a system is clearly defined. It allows to reduce development time and increase development efficiency in general.

The use of a web-based decision support system that implements the proposed information technology will improve the technical and economic performance of the enterprise.

**Keywords:** food company management, decision making, decision support systems, order execution planning, combined algorithms, combined decision-making methods, information technology.