

**Скакаліна Олена Вікторівна**

кандидат технічних наук, доцент

Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, м. Полтава, Україна

wboss@i.ua

ORCID: 0000-0002-6441-3467

## МУЛЬТИ-ЕТАПНА ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНО-РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ

**Анотація.** Одна з основних тенденцій розвитку інформаційних технологій та інформаційних систем (ІТ та ІС) у ХХІ столітті буде пов'язана з вирішенням проблеми всебічної інтеграції зазначених технологій та систем з існуючими та майбутніми виробничими та соціально-економічними структурами і відповідними системами управління (СУ). Тому однією з актуальних наукових задач є задача оптимізації управління складними територіально – розподіленими системами, до котрих відносяться виробничо-економічні системи. Основним видом виробничо-економічної системи є сучасне підприємство, тобто- господарюючий суб'єкт. В якості такого суб'єкту може виступати агрохолдинг, нафтогазова компанія, енергетичний комплекс, інформаційні системи, галузеві системи управління, крупні банківські структури та їм подібні складні територіально розподілені системи. Головною метою досліджень є створення нових інтелектуальних інформаційних технологій для оптимізації логістичних процесів в умовах складних територіально-розподілених систем, до яких відносяться такі господарюючі суб'єкти національного виробництва як агрохолдинги, підвищення точності прогнозування. Застосовані еволюційні методи, методи та алгоритми керування проектами, апарат нечітких множин, нейромережевий алгоритм методу групового урахування аргументів. Проведений аналіз доцільності представлення логістичної діяльності агрохолдингу як проектної. Визначені засоби підвищення ефективності вирішення даної проблеми. Розроблені нові технології оптимізації логістичних процесів на основі застосування двоетапної оптимізаційної методики. Проведено тестування ефективності запропонованих інтелектуальних технологій на даних господарюючих суб'єктів різного ступеню інтегрованості. Отримані результати свідчать про те, що запропонована двоетапна оптимізаційна методика із застосуванням апарату нечітких множин для формування вихідних популяцій при роботі генетичних алгоритмів дає більш якісний та кількісний результат. Застосування нейромережевого методу групового урахування аргументів дозволяє оптимізувати витрати майбутніх періодів та зменшити витрати на зберігання товарної продукції. Доведена доцільність репрезентації виробничої діяльності агрохолдингу як проектної. Розроблена інтелектуальна інформаційна технологія для оптимізації логістичних процесів, заснована на застосуванні модифікованих генетичних алгоритмів із залученням апарату нечітких множин для формування вихідних популяцій. На основі запропонованих інтелектуальних інформаційних технологій були проведені розрахунки витрат на логістичні процеси декількох національних агрохолдингів. Отримані результати свідчать про зменшення витратної частини в діапазоні від 8 до 12%, що в умовах інтеграції в міжнародні структури є суттєвими. Розроблені інформаційні технології можуть бути застосовані до оптимізації управління складними територіально-розподіленими системами з інших предметних областей, а саме – паливно-енергетичного комплексу.

**Ключові слова:** інтелектуальні інформаційні технології; ERP-системи; двоетапна оптимізація; генетичні алгоритми; агрохолдинг; апарат нечітких множин; нейромережевий метод групового урахування аргументів; проектна діяльність

**Постановка проблеми.** Сучасний стан фінансово-економічного становища, що має місце в Україні, вимагає інноваційних методів управління з метою скорочення витратної частини бюджету будь-якого господарюючого суб'єкту. Враховуючи той факт, що агросектор України генерує значну частину валового внутрішнього продукту (більш ніж 10%) та надає робочі місця 3,5 млн працівників(тобто – майже 17% зайнятого населення країни) питання оптимізації логістичних набуває стратегічного значення, що в свою чергу, обумовлює необхідність пошуку нових, котрі раніше не

використовувалися, систем управління (СУ) агропідприємствами[1]. Створення нових СУ неможливо без застосування інтелектуальних інформаційних технологій, які забезпечують отримання синергетичного ефекту завдяки оптимізації не тільки власних об'єктів господарювання, але й взаємодіям зі суміжними учасниками в ланцюгах просування сільськогосподарської сировини та продукції переробки. Саме таким ефективним інструментом управління підприємствами АПК України може стати концепція оптимізації логістики в напрямку об'єднання теоретичних і методологічних підходів, які використовує сучасний світовий досвід оптимізації матеріальних потоків в логістичних формуваннях. За даними зарубіжних досліджень використання науково обґрунтованих методів оптимізації логістичних процесів дозволяє знизити рівень витрат на 20%, витрати на товарні запаси – на 30%-70%, зменшити час обороту матеріальних потоків – на 20%-50%. Очевидно, що при досягненні цих показників у реальних умовах ресурсо-забезпечення аграрного сектора міг би бути отримано значний економічний ефект.

Однак, з ряду об'єктивних і суб'єктивних причин інноваційні методи оптимізації логістики та маркетингу у нас використовуються недостатньо. Можна помітити, що на сьогоднішній день агрологістика – нове прикладне напрямком логістики, пов'язане з використанням її положень і методів у сфері аграрного виробництва. В Україні агрологістика знаходиться на початковому етапі розвитку. Разом з тим в розвинених країнах світу – США, Канаді, Західній Європі, Австралії – давно оцінили високу ефективність використання логістичних підходів в агробізнесі. Сьогодні у багатьох країнах Європейського Союзу саме державні структури беруть на себе ініціативну роль у впровадженні логістичних підходів у діяльність аграрних підприємств. Сформувалася аграрна логістика як окремий науковий напрям, в рамках якого розробляються наукові принципи, методи, математичні моделі, алгоритми, які дають можливість планувати, контролювати і управляти транспортуванням, складуванням, іншими матеріальними і нематеріальними потоками і операціями, які виникають у процесі доставки різного виду сировини і матеріалів до аграрного виробництва, організації самого виробничого процесу, доставки аграрної продукції до місць переробки до кінцевого споживача відповідно до його вимог.

Вивчаючи питання використання логістичного підходу в управлінні матеріальними ресурсами, можна стверджувати, що новизна його полягає в такій зміні пріоритетів господарської діяльності, коли головну роль відіграє не просто матеріальний продукт, а цілісний процес у вигляді потоку (матеріального, інформаційного, фінансового, іншого). Тому можна зазначити, що метою оптимізації логістичних процесів є оптимізація всього циклу формування логістичного потоку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз існуючих моделей управління складно організованих територіально – розподілених систем (СОТРС) як інтегрованих структур та ступень відповідності впроваджених в СОТРС ERP, BMR та інших систем корпоративного управління сучасним потребам СОТРС в оптимізації всіх існуючих видів виробничої та супроводжувальної діяльності господарюючих суб'єктів дозволяє дійти обґрунтованого висновку щодо суттєвої невідповідності застосованих в цих системах методів оптимізації виробничих та логістичних процесів. Об'єктивні виклики сучасної діяльності в умовах СОТРС вимагають застосування інтелектуальних інформаційних технологій на всіх рівнях управління складними об'єктами за умов мінімізації таких ключових параметрів як повна вартість впровадження ERP, BMR та інших систем корпоративного управління, терміни їх впровадження, наявність персоналу з відповідним рівнем професійної підготовки [2]. Аналіз класичних методів оптимізації, що реалізовані в складі відомих ERP – систем, показує, що доволі часто вони не забезпечують отримання адекватних управлінських

рішень через значні часові витрати на пошук оптимального рішення[3]. Застосування інноваційної логістики як самостійної конкурентної потужності дозволить національним СОТРС в умовах швидко мінливого світового ринку зберегти лідерство в процесах досягнення мети та реалізації стратегій.

Враховуючі все вищенаведене можна констатувати наявність важливої науково-прикладної проблеми, актуальність якої зумовлена об'єктивною необхідністю створення нових інноваційних інформаційних технологій оптимізації управління виробничими та логістичними процесами в умовах СОТРС, зокрема, алгоритмів, методів та ін. для підвищення ефективності їхнього виконання за рахунок поєднання методів керування проектами та еволюційних алгоритмів, що надає можливість отримання синергетичного ефекту.

Управління логістичними процесами є базовим і одним з найголовніших складових будь-якої корпоративної інформаційної системи. На сьогоднішній день використання існуючих комерційних ERP – систем дозволяє працювати з інтегрованим програмним продуктом замість кількох розрізнених.

В даний час на практиці використовуються два класу реалізацій інтелектуальних систем (ІС) управління транспортними організаціями [4]. Перший базується на автоматизації облікових бухгалтерських функцій. Системи цього класу найбільш поширені в українських автотранспортних організаціях. Другий клас ІС спочатку базується на автоматизації виконання виробничих функцій. Системи цього класу відповідають вимогам стандарту де-факто для ІС управління організацією ERP (Enterprise Requirements Planning – планування потреб організації). Тобто, по суті – ERP – це набір перевірених на практиці розумних принципів, моделей, процедур управління і контролю. Ці принципи служать підвищенню ефективності роботи організації [5]. Стандарт ERP об'єднав великий досвід практичного використання ІС, що відповідають вимогам MRP-II (Manufacturing Resource Planning - планування виробничих ресурсів) і FRP (Financial Resource Planning – планування фінансових потреб). Єдина система дозволяє більш оптимально управляти обробкою, логістикою, дистрибуцією, поставками, бухгалтерським, фінансовим та податковим обліками. Слід зазначити, що впровадження класичних ERP – систем відноситься до категорії «важких» замовних програмних продуктів – їх вибір, придбання, впровадження і супровід вимагають дуже ретельного планування в рамках тривалого процесу з участю партнерської компанії – постачальника або консультанта. Використання ERP – системи тісно пов'язане зі створенням і обслуговуванням потужної бази даних. Серед найбільш відомих комерційних програмних продуктів, які реалізують концепцію ERP, і використовуються в управлінні великими компаніями, можна назвати в першу чергу SAP, Oracle, Microsoft Dynamics, 1С:Підприємство (модуль - Логістика), Парус - корпорація v.8:10, Галактика – Управління Логістикою та інші. Протягом останніх років у світі стрімко розвивається ринок «хмарних» онлайн версій систем планування ресурсів підприємств. Одним із способів економії ресурсів при транспортуванні вантажів є застосування систем підтримки прийняття рішень (СППР) в області транспортної логістики. Розробка програмних пакетів, комплексно вирішують завдання цієї предметної області, вимагає проведення серйозних наукових досліджень з метою отримання ефективних алгоритмів, придатних для застосування в повсякденній практиці.

Інтелектуальна інформаційна система (ІС), що лежить в основі будь СППР, повинна мати архітектуру програми і мати дружній інтерфейс для зручності користування.

ІС повинна мати наступний функціонал:

- Забезпечення інформаційної підтримки управління транспортними перевезеннями.

- Рішення транспортної задачі різними методами.
- Універсальний клас для роботи з генетичними алгоритмами.
- Знаходження оптимального рішення для складання розкладу транспортних перевезень.

Мета транспортної діяльності вважається досягнутою при виконанні наступних умов:

- необхідний товар;
- необхідної якості;
- в достатній кількості;
- в певний час;
- в домовленому місці;
- при мінімумі витрат.

До теперішнього часу відомо досить багато алгоритмів для рішення задач маршрутизації транспорту (ЗМТ). Здебільшого це - евристичні методи, використовувані при наявності матриці відстаней або інформації про розташування вершин на площині. ЗМТ є NP-складною задачею, тому найбільш інтенсивно пошук ведеться в напрямку наближених алгоритмів. Пропонувалися точні методи розв'язання ЗМТ, як, наприклад, метод гілок і меж, але час обчислень при їх застосуванні росте дуже швидко. ЗМТ передбачає значно більшу кількість варіантів рішень для перегляду, ніж ЗК при однаковій кількості вершин, в той час як застосування методу гілок і меж для розв'язання ЗК вже важко для наборів даних з 30 вершинами і більше.

Серед класичних методів рішення ЗМТ можна перерахувати наступні[6]:

1. 1.Конструктивні алгоритми – алгоритм Кларка-Райта і її розширення, послідовний алгоритм вставки Моля-Джеймса, послідовний алгоритм вставки Кристофидеса – Монгоззи - Тосса,
2. Двофазні класичні алгоритми.
3. Алгоритм заметанія, алгоритм пелюсток
4. Алгоритм Фішера - Джекумера, алгоритм Брамела – Симчи – Леві.
5. Класичні поліпшуючі алгоритми.

Формальні математичні моделі прийняття рішень в даний час все більш повно відображають складність реальних практичних проблем, що, з одного боку, робить їх більш адекватними реальним системам, а з іншого – призводить до необхідності вирішувати все більш складні задачі оптимізації. Основні властивості реальних практичних задач оптимізації – наявність багатьох критеріїв, суттєвих обмежень, різношкальних змінних та алгоритмічне завдання функцій – роблять неможливим застосування традиційних методів. Виходом з такої ситуації є використання адаптивних стохастичних алгоритмів, успішно долають зазначені труднощі.

Одним з найбільш часто вживаних в такій обстановці підходів є еволюційні алгоритми[7], що являють собою стохастичні оптимізаційні процедури. Еволюційні алгоритми включають в себе генетичні алгоритми (genetic algorithm), еволюційну стратегію (evolution strategy), еволюційне програмування (evolutionary programming), алгоритми диференціальної еволюції (differential evolution), а також генетичне програмування (genetic programming). Суть парадигми еволюційних алгоритмів полягає у використанні базових принципів теорії біологічної еволюції – відбору, мутації і відтворення особин. Еволюційні алгоритми є частиною більш широкої технології м'яких обчислень (soft computing), що включають в себе ще нечітку логіку Заде (L. A. Zadeh), нейронні мережі, імовірнісні міркування та мережі довіри. Дані технології доповнюють один одного і використовуються в різних комбінаціях або самостійно для створення інтелектуальних систем. Найбільш розвинений клас еволюційних алгоритмів – генетичні алгоритми, що імітують процеси природної еволюції[8]. Схема традиційного генетичного алгоритму має наступний вигляд:

**ПОЧАТОК** /\* генетичний алгоритм \*/  
 Створити початкову популяцію  
 Оцінити пристосованість кожної особини  
 останов := FALSE  
**ПОКІ НЕ останов ВИКОНУВАТИ**  
**ПОЧАТОК** /\* створити популяцію нового покоління \*/  
**ПОВТОРИТИ** (розмір\_популяції / 2) **РАЗІВ**  
**ПОЧАТОК** /\* цикл відтворення \*/  
 Вибрати дві особини з високою пристосованістю з попереднього покоління для схрещування  
 Схрестити вибрані особи і отримати двох нащадків  
 Оцінити пристосованості нащадків  
 Помістити нащадків в нове покоління  
**КІНЕЦЬ**  
**ЯКЩО** популяція зійшлася **ТО останов := TRUE**  
**КІНЕЦЬ**

Таб. 1

Відповідність термінів еволюційної та математичної моделей

Еволюційна модель	Математична модель
хромосома	Рішення, об'єкт, стрічка, послідовність
ген	Змінна, параметр, характеристика, ознака
аллель	Значення фрагменту закодованого параметру
локус	Номер фрагменту закодованого параметру
генотип	Множина закодованих рішень задачі, простір рішень
фенотип	Множина рішень задачі
Особина, індивід	об'єкт, система
Придатність, пристосованість	Якість, оптимальність
Fitness-функція	Цільова функція
популяція	Множина рішень
покоління	Ітерація роботи еволюційного алгоритму

### Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Генетичні алгоритми мають суттєві переваги як методи оптимізації:

- Широка область застосування .
- Можливість проблемно орієнтованого кодування рішень , підбору початкової популяції, комбінування генетичних алгоритмів з навіть нееволуційними алгоритмами, продовження пошуку до вичерпання ресурсів.
- Придатність для пошуку в складному
- просторі рішень великої розмірності.
- Відсутність обмежень на вид цільової функції (функції пристосованості).
- Ясність схеми побудови генетичних алгоритмів.
- Інтегрованість з штучними нейро-мережами і нечіткою логікою.

На той же час існують і недоліки ГА [9] :

- Евристичний характер ГА не гарантує оптимальності отриманого рішення (хоча на практиці часто важливо за заданий час отримати одно або декілька раціональних рішень, що більш або менш наближаються до оптимальних; до того ж вихідні дані в задачі можуть динамічно змінюватися, бути неточними або неповними.
- Відносно висока обчислювальна трудомісткість, викликана тим, що в ході моделювання еволюції багато рішень відкидаються як неперспективні . Тим не

менш, численні експерименти вказують на те, що часова складність ГА в середньому нижче, ніж у кращих конкуруючих алгоритмів, але не більше ніж на один порядок.

- Невисока ефективність ГА на заключних фазах моделювання еволюції; це пояснюється тим, що генетичні оператори не орієнтовані на швидке попадання в локальний оптимум.

Таким чином, вдосконалення існуючих та розробка нових інтелектуальних інформаційних технологій для рішення задач оптимізації є актуальною задачею.

**Постановка задачі.** Задачі маршрутизації автотранспорту (Vehicle Routing Problem, VRP) – це великий клас задач, який має безпосереднє відношення до проблеми побудови нових інноваційних засобів оптимізації логістичних процесів в різних предметних галузях. Задача маршрутизації транспорту може бути описана як задача знаходження оптимального (мінімального по витратам) плану перевезень будь-якого вантажу від постачальника споживачу, при умовах додаткових обмежень. Додаткові обмеження можуть накладатися на кількість транспортних засобів, довжину маршруту, на вантажопідйомність і т.і. В якості критерію ефективності плану вантажоперевезень є сумарні витрати на перевезення власним транспортом та орендованим. Тобто, основна мета: мінімізувати загальну кількість одиниць технологічного транспорту та мінімізувати загальну відстань, покрити всіма одиницями технологічного транспорту, при досягненні котрої вирішується задача мінімізації загальної вартості плану транспортних перевезень.

**Виклад основного матеріалу.** Дану задачу можна представити у вигляді графа  $G = (X, U)$ ,  $X = n + 1$ , де  $n$  – множина вершин, яке дорівнює кількості клієнтів (вершини 1, 2, ...,  $n$ ), а також вихідне депо, звідкіля починають і де закінчують свої маршрути усі автомобілі (вершина  $n + 1$ );  $U$  – дуги, що з'єднують вершини графа [10]. Введемо наступні позначення:  $C$  – множина клієнтів,  $|C| = n$ , а  $c_i, c_j$  –  $i$ -й та  $j$ -й клієнти;  $(i, j) \in A$  – дуга, що з'єднує вершини графа;  $d_i$  – потреба  $i$ -го клієнта;  $t_{ij}$  – час перевезення по маршруту  $(i, j)$ , у тому числі час обслуговування клієнта та час переїзду від клієнта  $i$  до клієнта  $j$ ;  $c_{ij}$  – вартість перевезення вантажу по маршруту  $(i, j)$ ;  $V$  – кількість автомобілів одного типу (однакової вантажопідйомності  $q$ ),  $k \in V$ ;  $[a_i, b_i]$  – проміжок часу, на протязі якого повинен бути обслугований  $i$ -й клієнт;  $S_{ik}$  – час прибуття  $k$ -го автомобіля до  $i$ -го клієнту; час відправлення з депо для всіх автомобілів дорівнює 0;  $x_{ijk}$  – змінна, приймаюча значення  $\{0, 1\}$  що характеризує напрямок руху автомобіля:  $x_{ijk} = 1$  – якщо авто рухається від клієнта  $i$  до клієнта  $j$ ;  $x_{ijk} = 0$  – якщо авто рухається в зворотньому напрямку.

З врахуванням прийнятих позначень можна записати наступне:

$$F = \sum_{k \in V} \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} X_{ij}^k \rightarrow \min \quad (1)$$

При обмеженнях:

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} X_{ij}^k = 1, \forall i \in C \quad (2)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} X_{ij}^k \leq q, \forall k \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} X_{0j}^k = 1, \forall k \in V \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ih}^k - \sum_{j \in N} X_{hj}^k = 0, \forall h \in C, \forall k \in V \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N} X_{i,n+1}^k = 1, \forall k \in V \quad (6)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A, \forall k \in V \quad (7)$$

Цільова функція (1) визначає вартість всіх маршрутів всіх транспортних засобів (загальна вартість транспортного плану). Обмеження (2) вважає, що кожен клієнт обслуговується одним транспортним засобом і тільки один раз. Обмеження (3) визначає, що транспортний засіб не може обслуговувати більше клієнтів. Ніж дозволяє його вантажопідйомність. Обмеження (4) означає, що кожен автомобіль покидає депо один раз. Обмеження (5) показує, що автомобіль може покинути вершину  $h$ , тільки

якщо він прибув в цю вершину. Аналогічно обмеженню (4) обмеження (6) означає, всі транспортні засоби вертаються до депо один раз. Це обмеження слідує з обмежень (4) та (5). Обмеження (8) – це обмеження по часу, прибуття авто до клієнта повинно бути в межах вікна часу. В залежності від обмежень можна класифікувати різні види VRP [11].

Таб. 2.  
Класифікація VRP

№	скорочення	Назва	опис
1	CVRP	Capacitated VRP	Маршрутизація з обмеженням вантажопідйомності класична
2	VRPTW	VRP with Time Windows	Маршрутизація з обмеженням по часу
3	MDVRP	Multiple Depot VRP	Маршрутизація з кількома депо
4	VRPPD	VRP with Pick-Ups and Delivering	Маршрутизація з негайним поверненням товарів
5	VRPB	VRP with Backhauls	Маршрутизація з поверненням товарів після повної доставки
6	SDVRP	Split Delivery VRP	Маршрутизація з розбиттям замовлення на кілька машин
7	HVRP	Heterogeneous VRP	Маршрутизація з різним транспортом
8	FSMVRP	Fleet Size and Mix VRP	Маршрутизація з необмеженим розміром і складом флоту
9	PVRP	Periodic VRP	Періодична маршрутизація
10	SVRP	Stochastic VRP	Маршрутизація з випадковими даними
11	DVRP	Dynamic VRP	Динамічна маршрутизація
12	VRPSF	VRP with Satellite Facilities	Маршрутизація з можливістю дозавантаження
13	PDP	Pickup-and-delivery problems	Доставка з одного місця в інше
14	CARP	Capacitated arc routing problems	Обслуговування клієнтів в дорозі (на ділянках доріг)
15	LRP	Location-routing problems	Маршрутизація з визначенням локацій (склад тощо)
16	IRP	Inventory routing problems	Завдання розподілу товару

В роботі застосована стратегія комбінування методів, так як застосування одного методу найчастіше недостатньо для отримання якісного адекватного рішення. Тому різні методи комбінують, «запускаючи» їх або послідовно, або паралельно. Звичайно застосовуються наступні стратегії комбінування: поетапний запуск, ітеративний запуск, конкуренція, розподілення на блоки даних (декомпозиція – розподіляєм дані на окремі фрагменти, які обробляємо окремо або одним методом, або - різними). В досліджуваній предметній області (сільгоспвиробництво на базі агрохолдингів) застосовані методи декомпозиції та поетапний запуск. Укрупнений план реалізації дворівневої оптимізації виглядає наступним чином:

- *Step 1.* В залежності від типу інтеграції бізнес-процесів АХ виконується або територіальна декомпозиція, або декомпозиція в залежності від орієнтації виробництва (технологічні процеси вирощування різних агрокультур, тваринництво, переробка).

- *Step 2.* Виконується аналіз виробничих потужностей, потужностей зберігання, власного та арендованого парку автомобілів, існуючих маршрутів перевезень, можливого обсягу перевезень в залежності від показників врожайності сільгоспкультур, розташування тимчасових пунктів зберігання.
- *Step 3.* На основі технологічних карт виробництва окремих агрокультур та фактичної наявності необхідних ресурсів створюється первинний план агрокомпанії на поточний сезон. За допомогою засобів керування проектами реалізується перший рівень оптимізації.
- *Step 4.* Відокремлюється логістичний блок оптимізованого плану на поточний сезон.
- *Step 5.* За допомогою гібридних генетичних алгоритмів з застосуванням апарату нечітких множин для корегування розмірності вхідної популяції логістичний блок оптимізується окремо ще раз на другому рівні оптимізації. Отримується остаточно оптимізований план транспортних перевезень АХ на поточний сезон.
- *Step 6.* За допомогою нейромережевої модифікації методу групового урахування аргументів реалізується короткотерміновий прогноз важливих технічних, фінансових та інших показників виробничої діяльності складних територіально-розподілених систем.

**Результати досліджень.** Розроблені інформаційні технології були протестовані на декількох національних АХ. Результати по структурним елементам АХ «Астарта» наведені нижче. Вибраний напрямок виробництва – тваринництво, вибрані структурні підрозділи : ООО "Полтавазернопродукт", ООО "Агрофірма ім. Довженко", ООО "Добробут" (всі - Полтавська область), ООО "Хмельницьке" (Вінницька область) и ООО "Волочиськ-Агро" (Хмельницька область). Тестові дані ураховані за 2014 рік. Склад наявних ресурсів для тестових розрахунків:

- рефрижератори – 120;
- трактори - 60;
- вантажні автомобілі - 180;
- автобуси пасажирські - 20;
- службові автомобілі – 60;
- водії;
- обслуговуючий персонал.

Таб. 3.

Результати застосування оптимізаційних алгоритмів

	Первинні витрати (опорний план)	Витрати після застосування проектної оптимізації (1 рівень)	Витрати після застосування ГА (2 рівень)
Загальні витрати на перевезення за 2014р , грн	35578400	34155264	29174288
Відсоток оптимізації, %	0	4	18
Застосовані методи	Фактичні розрахунки	Керування проектами	Модифікований генетичний алгоритм з застосуванням апарату нечітких множин для формування вихідної популяції
Використане програмне середовище	MS Excell	MS Project	Програмний комплекс для генерації заданих модифікацій генетичних алгоритмів «ПК ГМГА»

У рамках даної тематики були алгоритмічно та програмно реалізовані наступні проекти:



1. Програмно реалізований класичний та модифікований ГА, які були використані для оптимізації маршрутів технологічного транспорту у декількох національних АХ (Кернел, Астарта, Октан). Сумарний економічний ефект лежить в межах 4,5-5% від первісної суми витрат..
2. На основі WEB – технологій програмно реалізований алгоритм мурашиних колоній, який був використаний для автоматизації складання оптимальних розкладів і маршрутів вантажних перевезень на базі даних Охтирського маслосиркомбіната в Шишацькому районі Полтавської області. Сумарний економічний ефект від 4,84% до 9% від персонального опорного плану.
  - Програмно реалізований модуль короткострокового прогнозування основних економічних показників АХ на базі нейромережі МГУА:
  - собівартість реалізованої продукції
  - валовий дохід
  - чистий дохід
  - обсяг реалізації товарів і послуг
  - комерційні, загальногосподарські та адміністративні витрати .
3. Всього за 15 статей бюджету АХ. Відхилення прогнозних значень від реальних лежить в діапазоні (0,9% до 9,89%).
4. Створена ПС управління транспортним парком в умовах агрохолдингу з урахуванням строків технічних оглядів одиниць технологічного транспорту, з можливістю обліку, аналізу і прогнозу всіх витратних статей.
5. Створена ПС управління потужностями зберігання в умовах агрохолдингу з урахуванням залежності товарних властивостей зберігається агропродукції від часу її зберігання. Прогнозний модуль дозволяє здійснювати короткострокове прогнозування всіх основних показників.
6. Створена ПС управління виробничими потужностями в умовах агрохолдингу з урахуванням структури витрат на насіннєвий матеріал, з урахуванням поточного стану родючого шару, з урахуванням витрат на сезонний полив, внесення добрив , управлінням паспортизацією виробничих активів АХ. Прогнозний модуль дозволяє здійснювати короткострокове прогнозування всіх основних показників.
7. Реалізований програмний додаток для вирішення транспортної задачі в невеликих транспортних компаніях (до 25 одиниць транспорту) на базі використання програмного продукту MS Excel. Мінімізація загальної вартості перевезень становить у середньому близько 8%.
8. Створено WEB - систему моніторингу виконання рейсів і автоматичного розподілу рейсів в он-лайн режимі, збір даних за витратами пального, швидкості руху транспорту, моніторинг поточного місцезоположення транспорту в режимі реального часу.

**Висновки.** Вивчаючи проблему оптимізації логістичних процесів для господарюючих суб'єктів, можна зробити висновок, що застосування генетичних алгоритмів для рішення подібних задач є досить потужним математичним інструментом і може застосовуватися для вирішення широкого кола прикладних задач, куди можуть бути включені й такі, які важко або взагалі неможливо розв'язати іншими методами, незважаючи на наявність певних недоліків застосування ГА. В процесі вирішення задачі HVRP (маршрутизації із різними транспортними засобами) був використаний декомпозиційний алгоритм, який редукував вихідну складну та територіально розподілену задачу до послідовностей істотно більш простих. Основною метою створення ПС в умовах національних АХ є забезпечення їх конкурентоспроможності в складних умовах сучасного світового ринку враховуючи високий транзитний потенціал і вигідне розташування. Український аграрний сектор - один з найпотужніших в

Євросоюзі, особливо продовольчий блок і може бути кластером інноваційно-інвестиційного розвитку всього національного виробництва. Запропоновані структурні рішення можуть бути інтегровані до ERP-системи та покладені в основу реалізації концепції 5Party Logistics.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Єрмолаєв А., Клименко І., Ємець В., Таран С. Аграрний сектор України: тенденції, суб'єкти, перспективи реформування. Інститут стратегічних досліджень. Київ. 2015. 28 с.
2. Van den Broeke, M., Boute, R., Samii, B., Evaluation of product-platform decisions based on total supply chain costs. *International Journal of Production Research*. 2015. 53(18), 5545-5563.
3. Jianjun Xu, Alejandro Serrano, Bing Lin. Optimal production and rationing policy of two-stage tandem production system. *International Journal of Production Economics*. 2017. Vol. 185, p. 100-112.
4. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений. М.: Издательский центр «Академия». 2008. 228 с.
5. Skakalina O.V., Litvynov V.V. The approach to solving the problem of optimization of transportation. *Mathematical machines and systems*. 2015. №1. P.139-145. ISSN1028-9763.
6. Пожидаев М. С., Костюк Ю. Л. Сбалансированная эвристика для решения задачи маршрутизации транспорта с учетом грузоподъемности. *Вестник ТГУ. УВТиИ*. 2010. № 3. С.65-72.
7. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой : учебное пособие. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 446 с.
8. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы. М.: Физматлит. 2010. 368 с.
9. Подлазова А.В. Генетические алгоритмы на примерах решения задач раскроя / Проблемы управления. Москва. 2008. Вып.№2. С.57-63. ISSN:1819-3161.
10. Гладков Л.А., Гладкова Н.В. Гибридный алгоритм решения транспортных задач с ограничением по времени. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2015. №6(167). С.180-190.
11. Эйрих С.Н. Обзор различных видов задачи маршрутизации транспорта. *New magenta papers*. 2012. № 1. С. 11–19.

#### **MULTI-STAGE OPTIMIZATION OF A COMPLEX TERRITORIAL DISTRIBUTED SYSTEMS**

**Skakalina Olena Viktorivna**

Candidate of Science(Engineering), Associate Professor  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine  
*wboss@i.ua*  
ORCID: 0000-0002-6441-3467

**Abstract.** One of the main trends in the development of information technology and information systems (IT and IS) in the 21st century will be the solution to the problem of the comprehensive integration of these technologies and systems with existing and future production and socioeconomic structures and appropriate management systems (SAs). Therefore, one of the urgent scientific problems is the task of optimizing the management of complex geographically distributed systems, which include production and economic systems. The main type of production and economic system is a modern enterprise, that is, an economic entity. Such an entity can be agroholding, an oil and gas company, an energy complex, information systems, sectoral management systems, large banking structures and similar complex

geographically distributed systems. The main aim of the research is the creation of new intellectual information technologies for the optimization of logistic processes in the conditions of agricultural holdings, improve the accuracy of forecasting of the main economic indicators of economic entities, improvement of investment attractiveness of national agricultural holdings by reducing costs in the logistics process, reducing the risks in investment activities. Applied evolutionary methods, methods and algorithms of project management, fuzzy sets, and neural network algorithms of group account of data handling (GMDH). The analysis of the usefulness of the logistics activities of the agricultural holding as a project. Identify the means of improving the efficiency of solving this problem. Developed new technologies for optimization of logistics processes through the application of two-stage methods. Tested the performance of the proposed intelligent technologies on the data of economic entities of different degrees of integration. The results indicate that the proposed two-stage optimization technique using the apparatus of fuzzy sets to generate the initial populations of the genetic algorithms gives a more qualitative and quantitative result. The use of neural network method of group account of arguments allows to optimize the costs of future periods and reduce storage costs of commodity products. The expediency of representation of the production activity of the agricultural holding as a project. Developed intelligent information technology for optimization of logistics processes based on the application of modified genetic algorithms involving fuzzy sets to generate the initial populations. Based on the proposed intelligent information technologies were carried out calculations of the cost of the logistics process at several national holdings. The results obtained show a decrease in expenditure in the range of 8 to 12 percent, in terms of integration into international structures are essential.

**Keywords:** intelligent information technology, ERP-system, two-stage optimization, genetic algorithms, agricultural holding, the fuzzy sets, neural network algorithms of group account of data handling (GMDH), the project activity

## REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Yermolayev, A., Klymenko, I., Yemets, V. & Taran, S. (2015). Agrarian Sector of Ukraine: Trends, Subjects, Prospects for Reformation. Kyiv, Instytut stratehichnykh doslidzhen (in Ukrainian).
2. Van den Broeke, M., Boute, R. & Samii, B. (2015). Evaluation of product-platform decisions based on total supply chain costs. *International Journal of Production Research* Vol. 53 (18), 5545–5563
3. Jianjun Xu, Alejandro Serrano & Bing Lin (2017). Optimal production and rationing policy of two-stage tandem production system. *International Journal of Production Economics*, 185, 100-112.
4. Gorev A.E. (2008). Freight road transport: training. Moscow: Izdatelskiy tsentr «Akademiya» (in Russian).
5. Litvynov, V.V. & Skakalina, O.V. (2015). The approach to solving the problem of optimization of transportation. *Mathematical machines and systems*, 1, 139-145
6. Pozhidayev, M. S. & Kostyuk, Yu. L. (2010). Balanced heuristics for solving the problem of transport routing taking into account the carrying capacity. *Vestnik TGU. UVTiL*, 3, 65-72 (in Russian).
7. Karpenko, A. P. (2014). Modern algorithms of search optimization. Algorithms inspired by nature. Moskva: Izdatelstvo MGTU im. N.E. Baumana (in Russian).
8. Gladkov, L. A., Kureychik, V. V. & Kureychik, V. M. (2010). Genetic algorithms. Moskva, Fizmatlit (in Russian).
9. Podlazova, A.V. (2008). Genetic algorithms on examples of solving nesting problems. *Control problems*, 2, 57-63 (in Russian).
10. Gladkov, L.A. & Gladkova, N.V. (2015). Hybrid algorithm for solving transport problems with time constraints. *Izvestiya YUFU - Izvestiya SFU. Engineering Sciences*. 6(167), 180-190 (in Russian).
11. Eyrikh, A.N. (2012). Overview of various types of the task of transport routing. *New magenta papers*, 1, 11–19 (in Russian).