

стях. Можно сделать вывод о том, что разработка «Информационной системы прогнозирования риска осложнения беременности» является целесообразной и будет приносить пользу.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Большая Медицинская Энциклопедия (БМЭ), под редакцией Петровского Б.В., 3-е издание, Т.13
2. XIX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2016). Сборник докладов в 2-х томах. Суздальцев В. А., Суздальцев И. В., Чермошенцев С. В., Богула Н. Ю. Формирование объяснения решений экспертной системой при классификации объектов. Санкт-Петербург. 25-27 мая 2016 г. Т.2. 450 с.
3. D. Rutkowska, M. Pilinski, L. Rutkowska. Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa Lodz, 1999.

УДК 004.45;656.027

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В СКЛАДНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНО-РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

**О.В. Скакаліна**

кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій і систем, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна, e-mail: [wboss@i.ua](mailto:wboss@i.ua)

**Анотація.** В роботі проведено дослідження застосування евристичних алгоритмів для оптимізації логістичних процесів в складних територіально-розподілених системах. Доведена ефективність застосування апарату нечітких множин для формування оптимальної розмірності початкової популяції модифікованого генетичного алгоритму. Створена інтелектуальна інформаційна технологія на основі модифікованого генетичного алгоритму для організації транспортних перевезень. Доведена доцільність використання цієї технології в управлінні складними територіально-розподіленими системами.

*Ключові слова:* інформаційні технології, складні територіально-розподілені системи, генетичні алгоритми, нечіткі множини, логістичні процеси.

## INTELLECTUAL INFORMATION TECHNOLOGIES OF LOGISTIC PROCESSES IN COMPOUND TERRITORIAL-DISTRIBUTED SYSTEMS

**Elena Skakalina**

Ph.D., Associate Professor of Computer and Information Technologies and Systems Department, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine, e-mail: [wboss@i.ua](mailto:wboss@i.ua)

**Abstract.** In the article, a study of the application of heuristic algorithms for the optimization of logistics processes in complex geographically distributed systems. Proved the effectiveness of fuzzy sets to optimal dimension of the initial population of modified genetic algorithm. Developed intelligent information technology based on modified genetic algorithm for the organization of transport. Proved the feasibility of using this technology in managing complex geographically distributed systems.

*Keywords: information technology, compound territorial distributed systems, genetic algorithms, fuzzy sets, logistic process.*

**Вступ.** В сучасних умовах господарююча діяльність суб'єктів національного виробництва неможлива без інтенсифікації інноваційних процесів в різних видах господарської та виробничої діяльності. В той же час ключовим фактором формування інноваційного виробництва є процес інформатизації, котрий представляє собою направлену інтеграцію і практичне застосування інтелектуальних інформаційних і комунікаційних технологій, яка забезпечує ефективну організацію бізнес-діяльності господарюючих суб'єктів національного виробництва за рахунок знаходження якісно нових загально системних властивостей. Саме показники рівня розвитку інформаційного середовища інноваційної інфраструктури та застосування інформаційно-комунікаційних технологій при реалізації основних і допоміжних бізнес-процесів є найважливішими показниками конкурентоспроможності підприємства. Господарюючі суб'єкти національного виробництва представляють собою з точки зору системного аналізу складно організовані територіально розподілені системи (СОТРС). Основним критерієм ефективності їх діяльності є фінансова прибутковість, тому розробка і впровадження інтелектуальних інформаційних технологій, що базуються на генетичних алгоритмах і нечітких множинах, і дозволяють оптимізувати витратну частину СОТРС, мають досить велике значення.

**Мета роботи.** Задачі створення оптимального плану є ключовими в галузях транспортних перевезень, переміщення та логістики. В багатьох галузях світового ринку доставка товару додає до його вартості суму, яка може бути порівняна з вартістю самого товару. Слід зауважити, що застосування інформаційних технологій для оптимізації процесу доставки товару часто виражається в економії порядку 5-25 % від його загальної вартості. Метою роботи є розробка інформаційної технології оптимізації логістичних процесів (ІТОЛП) СОТРС на базі генетичних алгоритмів.

**Матеріал і результати досліджень.** В термінах задачі маршрутизації автотранспорту задача даного типу має наступне формулювання. Мається деяка кількість засобів технологічного транспорту (ЗТТ) різних типів, декілька клієнтів – складів, одне депо. Для кожного ЗТТ необхідно побудувати оптимальний маршрут перевезень. На маршрути накладається обмеження

– кожен маршрут повинен починатися з початкової точки – депо і добігати кінця також в депо.

Генетичний алгоритм [1] — це евристичний алгоритм пошуку, використовуваний для рішення задач оптимізації з використанням механізмів, що імітують біологічну еволюцію. При цьому в разі генетичного алгоритму під еволюцією мається на увазі еволюція деякої популяції особин (хромосом)– рішень, пристосованість кожної з яких визначається значенням цільової функції, що відповідає даному рішенню. У найпростішому випадку канонічного генетичного алгоритму, імітація такої еволюції зводиться до імітації появи нових особин-нащадків (нових рішень) на основі схрещування особин-батьків (старих рішень), імітації відбору найбільш пристосованих особин (рішень з найкращим значенням цільової функції) та імітації випадкових мутацій (рідкісних випадкових змін рішень).

На початковому етапі ( $n = 0$ ) канонічного генетичного алгоритму випадково генерується початкова популяція хромосом, кожна з яких являє собою послідовність генів, що кодують альтернативне рішення (наприклад, хромосома може кодувати варіант перевезення визначеного вантажу певним ТЗ по певному маршруту, при цьому кожний ген може нести в собі значення відповідного типу ТЗ та протяжності маршруту від виробничої потужності (ВП) СОТРС до потужності зберігання (ПЗ)). Потім стартує цикл, на кожній ітерації якого до поточної популяції послідовно застосовуються: оператор репродукції, випадково відбирає хромосоми для схрещування з імовірністю, пропорційній їх функції пристосованості (визначається значеннями цільової функції відповідних пар – ТЗ&маршрут); оператор кросинговеру, що імітує створення хромосом-нащадків, запозичивши окремі ділянки генетичного коду у батьків (утворення нових відповідних пар ТЗ&маршрут, які успадкували різні типи ТЗ і маршрутів у різних відібраних раніше старих пар); оператор випадкової мутації, із заданою (достатньо малою) ймовірністю змінює хромосому у випадковому місці випадковим чином; і, нарешті, оператор рекомбінації, що визначає хромосоми, які увійдуть в наступну популяцію (відбирає найбільш доцільні для подальшої еволюції пари ТЗ&маршрут відповідно до значення їх цільової функції). В якості цільової функції застосована грошова вартість всього плану перевезень. Цикл продовжується до тих пір, поки не буде досягнуто максимальне число ітерацій  $n$  або отримано задовільне рішення. Схема традиційного ГА :

*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 по-
переднього покоління для схрещування;
    Схрестити вибрані особини і отримати двох нащад-
ків;
    Оцінити пристосованості нащадків;
    Помістити в нове покоління нащадків;
КІНЕЦЬ
ЯКЩО популяція зійшлася ТО останов := TRUE
```

КІНЕЦЬ

В таблиці 1 наведено відповідність термінів еволюційної і математичної моделей.

Для вирішення поставленої задачі пропонується застосувати модифікований генетичний алгоритм з використанням апарату нечіткої логіки для визначення розміру вихідної популяції в залежності від довжини хромосоми та розмірності гена. Визначення розмірності початкової популяції є фундаментальним рішенням при створенні генетичного алгоритму. З одного боку, якщо задати занадто малий розмір популяції, генетичний алгоритм зійдеться дуже швидко через недостатній обсяг множини можливих рішень. З іншого боку, алгоритм з популяцією, яка має надто велику розмірність, буде потребувати для виконання значно більше часового ресурсу, а покращення результату буде незначним. В такому випадку краще запустити алгоритм з меншим розміром популяції декілька разів і обрати кращий результат з всіх отриманих проміжних.

Проблема знаходження оптимального розміру популяції зв'язана з такими характеристиками генетичного алгоритму :

- Довжина хромосоми (кількість генів в хромосомі);
- Розмірність гена (діапазон значень гену).

Таблиця 1 – Відповідність термінів еволюційної і математичної моделей

<i>Еволюційна модель</i>	<i>Математична модель</i>
хромосома	Рішення, об'єкт, рядок, послідовність
ген	Змінна, параметр, характеристика, признак
алель	Значення фрагменту закодованого параметра
локус	Номер фрагменту закодованого параметру
генотип	Множина закодованих рішень задачі простору рішень
фенотип	Множина рішень задачі
Індивід, індивідуум	об'єкт, система
придатність, пристосованість	Якість, оптимальність
Fitness - функція	Цільова функція
популяція	Множина рішень
покоління	Ітерація роботи еволюційного алгоритму

Базовою ідеєю запропонованого в роботі підходу є використання апарату нечіткої логіки для визначення розміру вихідної популяції в залежності від довжини хромосоми та розмірності гена. Наприклад, для дуже великої довжини хромосоми і великої розмірності гена треба використовувати дуже великий розмір популяції. Тобто, зі збільшенням значення вхідних параметрів, розмір популяції також збільшується. Структура нечітких правил є типом правил Мамдані [2] з двома вхідними параметрами і одним вихідним.

Модифікований генетичний алгоритм (МГА) закінчує свою роботу, якщо виконана задана максимальна кількість ітерацій ( $N_{it}$ ) або значення кількості обліковця «застій» процесу пошуку досягло визначеного значення, яке розраховується виходячи з максимальної кількості ітерацій. Кожне рішення в ГА представляє собою набір числових значень, які характеризують маршрут ЗТТ. Такими характеристиками є час доставки вантажу до потужності зберігання, час, витрачений на розгрузку, вага вантажу, загальний протяг, який пройшов даний ЗТТ, загальний час в дорозі. Кожен маршрут починається і закінчується в депо. Маршрут складається з наступних відрізків: 1 відрізок - шлях від депо до ВП СОТРС (ЗТТ на цьому відрізку рухається без вантажу, це – початок роботи); 2 відрізок – шлях від ВП СОТРС до ПЗ СОТРС (ЗТТ загрузається, далі рухається з вантажем); 3 відрізок – шлях від ПЗ

СОТРС до пункту кінцевого призначення (ЗТТ розвантажується, далі рухається без вантажу); 4 відрізок – шлях від пункту кінцевого призначення до депо (закінчення роботи).

Ген має наступну структуру :

{ ідентифікатор пункту відправки ЗТТ ;  
час в дорозі до наступного пункту призначення;  
час вантажно-розвантажувальних робіт;  
вага вантажу;  
відстань між пунктом відправки і наступним пунктом призначення;  
час, за який пройдено відстань між пунктом відправки та пунктом призначення } .

Тоді наступний запис {0;0;0;0;0;0}; {2;20;45;25;30;65}; {3;15;10;25;45;90}; {0;60;0;0;90;150} означає наступну послідовність дій : з депо (завжди позначається 0) вийшла порожня машина, при цьому витрачений час і пройдена відстань дорівнюють нулю. До пункту призначення 2 ( ВП СОТРС) машина прибула через 20 хвилин, за 45 хвилин була завантажена сировиною в кількості 25 тон (до повного заповнення вантажівки), при цьому була пройдена відстань 30 кілометрів за загальний витрачений час 65 хвилин. До пункту 3 ( ПЗ СОТРС) машина прибула через 15 хвилин, за 10 хвилин її розвантажили в кількості 25 тон, при цьому була пройдена відстань 45 кілометрів за загальний час на маршруті 90 хвилин. До прибуття з ПЗ СОТРС в депо знадобилось 60 хвилин, сумарна пройдена відстань дорівнює 90 кілометрів, загальний час на маршруті 150 хвилин. Кожна подібна тетрада утворює *хромосому*, яка є фрагментом загального рішення і котра задає один варіант маршруту однієї одиниці ТТ. Таке представлення дозволяє здійснювати перестановку окремих частин маршрутів (тобто - генів) між різними хромосомами і при цьому отримувати тільки коректні рішення. В даному алгоритмі застосовується *одноточковий (Single-point crossover) оператор кросинговера*. Тоді процедура виконання оператора кросинговера може бути описана наступним чином:

*Step 1* – визначити кількості хромосом, які беруть участь в операції кросинговера. В даній модифікації ГА приймають участь дві хромосоми, тобто  $h=2$ .

*Step 2* – відібрати з популяції задану кількість рішень (або ймовірнісним образом або на підставі значення цільової функції).

*Step 3* –здійснити випадковий вибір точки кросинговера в виділених хромосомах.

*Step 4* - вставити копіюванням відрізків, що розташовані в точках розриву, в інші відібрані рішення.

*Step 5* – обчислити коректності отриманих рішень, видалення некоректних рішень, якщо вони є.

*Step 6* – виконати розрахунок та оцінку значення цільової функції для нових рішень та включити їх до поточної популяції.

Для програмної реалізації застосування МГА в ІТОЛП був розроблений програмний комплекс для генерації заданих модифікацій генетичних алгоритмів та вирішення за їх допомогою транспортних задач типу VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows* - Маршрутизація з обмеженням по часу). Для тестування ІТОЛП в реальних умовах СОТРС були використані 9 об'єктів предметної області (ОПО#і). Результати обчислювального експерименту наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати застосування МГА при реалізації ІТОЛП

ОПО в умовах СОТРС	Вартість первинного плану перевезень (грн)	Вартість плану перевезень з застосуванням КГА	Вартість плану перевезень з застосуванням ІТОЛП (грн)	Грошовий еквівалент застосування ІТОЛП (грн) – гр.2-гр.4	Процентний еквівалент оптимізації (% по відношенню до гр.2)
1	2	3	4	5	6
ОПО#1	205 869,28	184 268,14	171 489,11	34 380,17	16,7
ОПО#2	189 715,20	175 894,45	167 575,44	22 139,76	11,6
ОПО#3	213 643,20	194 587,65	187 365,09	26 278,11	12,3
ОПО#4	133 866,00	128 941,84	120 747,13	13 118,87	9,8
ОПО#5	56 609,62	46 008,31	40 419,27	16 190,35	28,6
ОПО#6	79 530,67	71 998,71	68 903,10	10 627,57	15,4
ОПО#7	195 360,00	181 604,74	171 135,36	24 224,64	12,4
ОПО#8	8 632,00	8 004,81	7 285,41	1346,59	15,6
ОПО#9	654 863,00	558 614,12	527 164,72	127698,29	19,5

Узагальнена методологія застосування ІТОЛП в умовах СОТРС приведена на рисунку 1.

**Висновки.** В роботі вирішені питання оптимізації логістичних перевезень в умовах складних територіально-розподілених систем, к класу котрих відносяться більшість господарюючих суб'єктів національної виробничої системи. Розроблена інформаційна технологія оптимізації логістичних перевезень шляхом застосування модифікованих генетичних алгоритмів. Вирішена задача визначення оптимального плану транспортних перевезень з врахуванням оперативного стану засобів технологічного транспорту та реальних маршрутів перевезень. Доведені коректність, доцільність та перевага застосування розробленої інформаційної технології оптимізації логістичних перевезень.

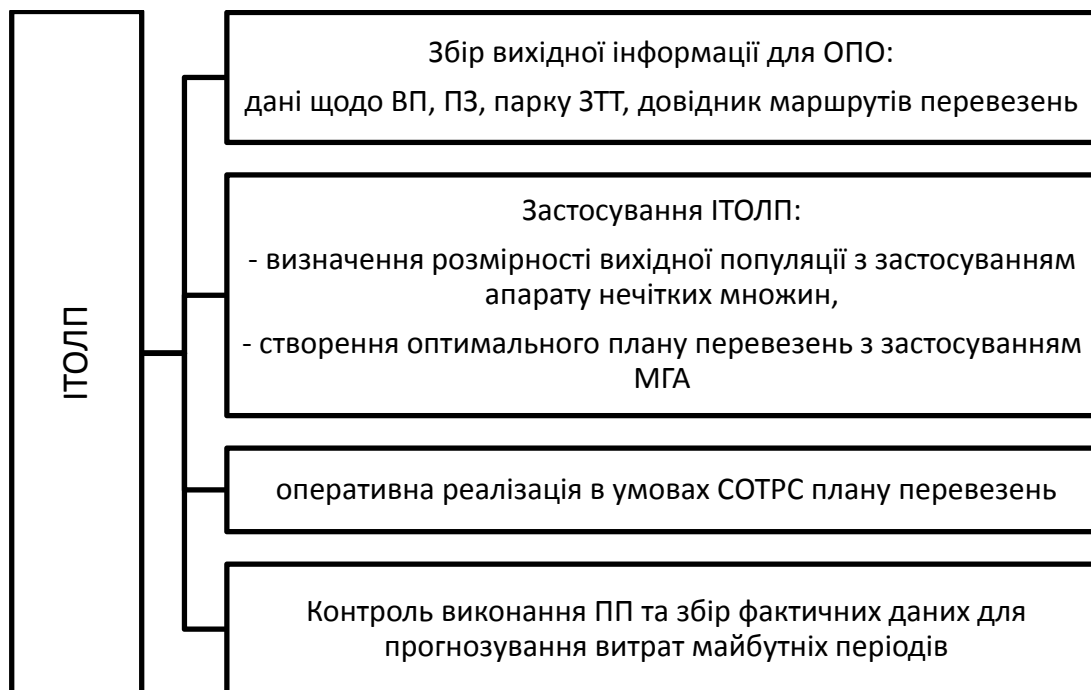


Рисунок 1 – Методологія застосування ІТОЛП в умовах СОТРС

## ЛІТЕРАТУРА

1. E.Skakalina. Applied aspects of the use of genetic algorithms in transport tasks // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Серія «Інформаційні системи і технології. Математичне моделювання». - Кременчуг, 2015.- Вип.2/2015(91). Частина 2. – с.34-41.

2. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plants // Proc. Inst. lect. Eng. – 1974. – Vol.121, № 12. – P. 1585-1588.

УДК 519.711.3

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОЛЕНОИДОВ И ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С ЦЕЛЮ СРАВНЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Ю.Н. Слесарев<sup>1</sup>, А.А. Воронцов<sup>2</sup>, К.М. Рябова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> д.т.н., профессор кафедры "Вычислительные машины и системы", Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: [slesarevun@gmail.com](mailto:slesarevun@gmail.com)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры "Вычислительные машины и системы", Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: [aleksander.vorontsov@gmail.com](mailto:aleksander.vorontsov@gmail.com)

<sup>3</sup> студент, гр.14ИВ1ба, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: [riabova.ksenija@yandex.ru](mailto:riabova.ksenija@yandex.ru)