

який відповідає оптимальний крок розміщення витків і величина діаметра змійовиків стосовно напрямку потоку теплоносія з турбулентним рухом. Виявлено, що в цьому випадку поліпшуються інтенсифікація теплообміну, пов'язана з активізацією процесів переносу.

На основі запропонованої моделі теплообмінника і аналогії процесів перенесення теплоти отримано залежності для розрахунку теплообміну при турбулентному безградієнтному обтіканні змійовиків і сталому турбулентному плинні в теплообміннику.

Ключові слова: підігрівальна-акумуляторна установка, теплообмінний апарат, триконтурний теплообмінник, система незалежного теплопостачання.

#### ANNOTATION

Using of a more effective scheme, which the optimal step of the circuits arrangement and the size of the diameter of the coils in regard to the direction of the heat-carrier flow with the vortical movement complies with, is possible together with classical schemes of the heat exchangers and pipes arrangement in the clusters with various geometry – chess and corridor. It is ascertained that in this case the heat exchange intensifications connected with the activation of the transfer processes improve.

Dependences for the calculation of the heat exchange under the conditions of the vortical non-gradient streamlining of the coils and the stationary vortical flow in the heat exchanger are obtained on basis of the proposed pattern of the heat exchanger and the analogy of the heat transfer processes.

Keywords: reheating battery-driven unit, heat-exchanging apparatus, three-circuit heat exchanger, independent heat supply system.

*УДК 621.86;69:338.26*

*О.В. Федусенко, к.т.н.;*

*І.М. Доманецька, к.т.н.;*

*В.М. Хроленко, к.т.н.; А.О. Федусенко, КНУБіА, м. Київ*

### **ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДО ВИРІШЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ЗАДАЧІ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ ВАНТОЖЕПЕРЕВЕЗЕНЬ У БУДІВНИЦТВІ**

#### АНОТАЦІЯ

Робота присвячена питанням використання генетичних алгоритмів для вирішення однієї з підзадач комплексної задачі оперативного управління логістикою вантажоперевезень у будівництві, а саме до підзадачі маршрутизації. Використання комплексного підходу до задачі оперативного управління логістикою вантажоперевезень дозволить підвищити якість прийняття управлінських рішень в діяльності транспортного управління підприємства великого будівельного холдингу.

Ключові слова: логістика вантажоперевезень, оперативне управління, інформаційна система, системний аналіз, генетичні алгоритми, мутація, ініціалізація, схрещення.

#### **Постановка проблеми та аналіз досліджень**

Велика кількість забудовників на будівельному ринку, який зараз переживає не найкращий час, призводить до загострення конкурентної боротьби і вимагає від учасників даного ринку шукати нові конкурентні переваги. Однією з таких переваг є зниження фінансових витрат від неефективного управління логістикою вантажоперевезень в будівництві. При цьому слід враховувати, що частка транспортних витрат у формуванні ціни на готову будівельну продукцію сягає, 50%[1]. Великі будівельні холдинги, з метою зниження транспортних витрат, створюють спеціалізовані транспортні підприємства, що обслуговують їх будівельні організації. Тому одним з важливих напрямків підвищення ефективності діяльності будівельного холдингу є застосування сучасних засобів інформаційних технологій оперативного управління логістикою вантажоперевезень в транспортному підприємстві [2].

Теоретико-методологічні основи управління логістикою викладені в працях багатьох вітчизня-

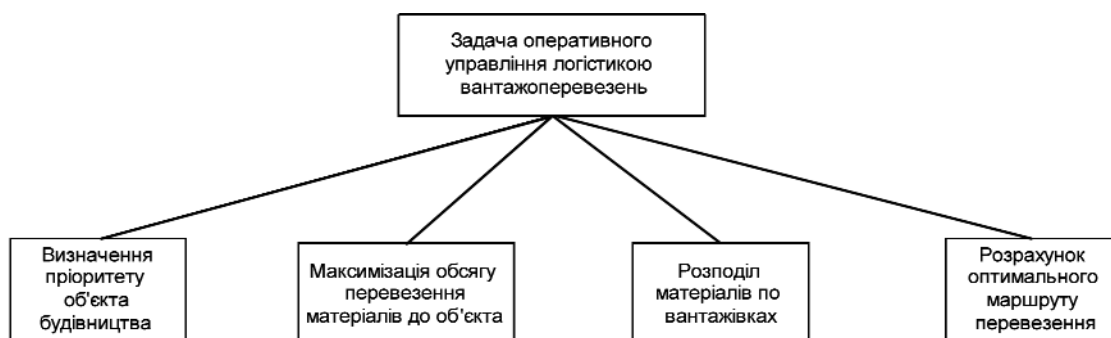


Рис. 1. Загальна декомпозиція задачі

них та зарубіжних вчених, які внесли великий вклад в розробку різних аспектів логістики як науки. Але досить багато питань застосування положень логістики в будівництві є маловивченими або зовсім не розглядалися. Це стосується питань комплектації транспортних засобів будівельними матеріалами та проблеми розробки загального плану перевезень будівельних матеріалів з точки зору оцінки пріоритетів об'єктів будівництва[2].

Таким чином, можна сказати, що розробка математичної моделі оперативного управління логістикою вантажоперевезень у будівництві, а також функціональне структурування інформаційної системи для її реалізації є досить актуальною, а подальше впровадження такої інформаційної системи дозволить підвищити ефективність управління процесом будівництва.

Метою роботи є аналіз використання комплексного підходу до задачі оперативного управління логістикою вантажоперевезень та аналіз процесу використання генетичних алгоритмів до вирішення підзадачі маршрутизації у загальній комплексній задачі для підвищення ефективності діяльності будівельного холдингу в цілому.

Розглянемо загальну модель вирішення задачі оперативного управління логістикою вантажоперевезень за допомогою запропонованої у попередніх розділах багатоцільової багатокритеріальної моделі оптимізації на кожному такті планування  $b$ . При цьому за такт планування приймемо період часу — 1 день. Таким чином, задача зводиться до щоденного формування плану перевезень матеріалів на об'єкти будівництва відповідно до заявок на матеріали, що надійшли за день, на наступний день. При цьому даний план буде формуватися без точного врахування часу до хвилин[3].

Для вирішення даної задачі доцільно використовувати методи декомпозиції. Використання даних методів дозволить звести вихідну задачу до

сукупності більш простих оптимізаційних задач, що відносяться до різних рівнів ієрархії і можуть бути розв'язані спільно. У простому випадку підзадачі, що виникають, поділяються на локальні, які вирішуються автономно на нижньому рівні, і глобальну задачу координації, яка вирішується на верхньому рівні. У більш загальному випадку до локальних задач також може бути застосована декомпозиція. У результаті вихідна задача зводиться до сукупності приватних підзадач, пов'язаних багаторівневою ієрархічною системою співвідпорядкованості[4].

Основною умовою застосовності методів декомпозиції є сепарабельність розв'язуваної задачі. Це виражається в тому, що задача допускає розбивку на локальні та координаційні задачі, спільне вирішення яких еквівалентне шуканому. Такою властивістю, зокрема, володіють завдання з адитивним критерієм і блоковою структурою обмежень[5].

Розроблювана в роботі модель вирішення задачі оперативного управління логістикою вантажоперевезень відповідає даним умовам.

Таким чином, в загальному вигляді задачу оперативного управління логістикою вантажоперевезень після декомпозиції можна представити у наступному вигляді:

У складі цього блока вирішуються задачі:

- \* визначення оцінок пріоритету об'єктів будівництва;
- \* максимізація обсягів перевезення будівельних матеріалів та виробів до об'єктів будівництва;
- \* розподіл обсягів будівельних матеріалів та виробів по вантажівках;
- \* формування оптимальних маршрутів перевезення вантажів.

В кожній стандартній (технологічній) і нестандартній ситуації, що виникають в діяльності великого будівельного холдингу в цілому та його транспортного підприємства, в інформаційній сис-

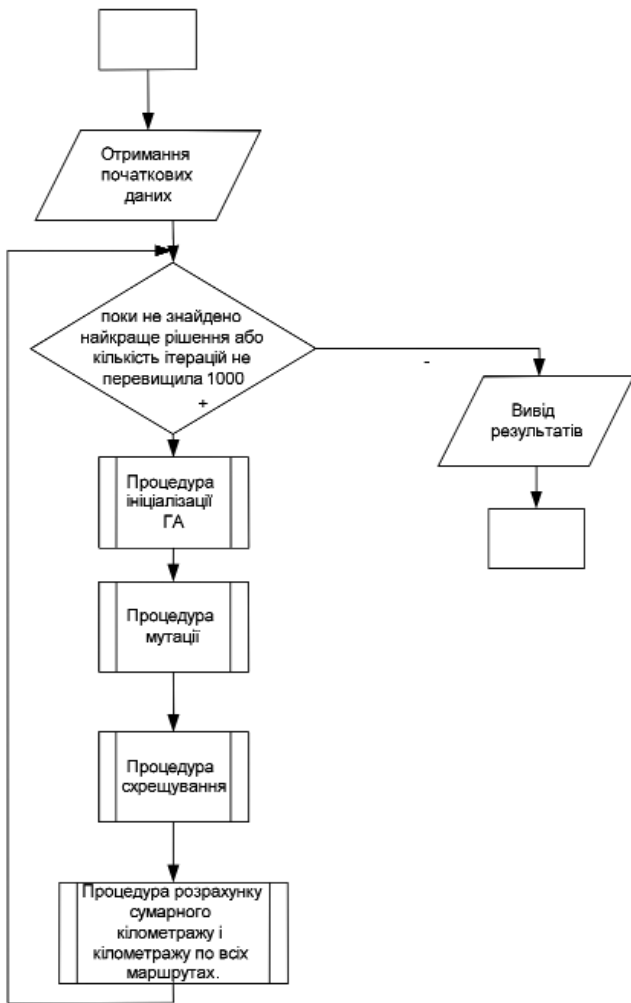


Рис. 2. Загальна схема вирішення під задачі маршрутизації

темі необхідно створювати (розробляти) умовно-замкнені моделі процесу вирішення тієї чи іншої задачі. При цьому такі моделі можливо створювати тільки за умови відомого інформаційного опису всіх об'єктів та зв'язків між ними [6].

Узагальнена модель вирішення задачі з використанням декомпозиції її на окремі підзадачі буде наступною:

Крок 1. Визначення функції терміновості перевезення, тобто пріоритету об'єкта будівництва. Крім того, на цьому кроці визначається граничне значення функції корисності  $W_i$ , при перевищенні якого потреби у матеріалах даного об'єкта необхідно виконувати у повному обсязі.

Крок 2. Визначення обсягів перевезення матеріалів для кожного з об'єктів будівництва в залежності від пріоритету. Після цього необхідно провести сортування отриманих результатів.

Крок 3. Для кожного із замовлень на матеріали

для певного об'єкта будівництва визначаються вантажні автомобілі, які будуть перевозити даний матеріал.

Крок 4. Визначається оптимальний маршрут перевезення матеріалу на об'єкт будівництва.

Саме для вирішення останньої задачі можна використати генетичний алгоритм. Представимо дану задачу у вигляді динамічної транспортної задачі з обмеженнями за часом (DVRPTW – dynamic vehicle routing problems with time windows)[7].

Транспортна задача з обмеженням за часом відноситься до класу задач маршрутизації автотранспорту (VRP – Vehicle Routing Problem). Задачі даного типу можна описати таким чином. Є деяка кількість автотранспорту, один склад (депо) і деяка кількість клієнтів. Для кожного транспортного засобу потрібно скласти маршрут, протягом якого транспортний засіб відвідує ряд клієнтів (наприклад, з метою доставки деякого вантажу). На маршрут кожного транспортного засобу накладається ряд обмежень. Кожен маршрут повинен починатися і закінчуватися в депо. Загальна кількість товарів, необхідних для доставки клієнтам на даному маршруті даного транспортного засобу, не повинна перевищувати його вантажопідйомність. Кожен клієнт обслуговується лише одним транспортним засобом і лише один раз, тобто не допускається відвідування одного клієнта двома і більше транспортними засобами. Кожен клієнт повинен обслуговуватися в певний проміжок часу, цей проміжок визначається двома значеннями, перше значення визначає час прибуття транспортного засобу до клієнта, друге – час відправлення. Для даної задачі сформульовано такі цілі (цільові функції): первинна мета – мінімізувати загальну кількість транспортних засобів, необхідних для обслуговування всіх клієнтів; вторинна – мінімізувати загальний час обслуговування всіх клієнтів і загальну відстань, пройдену усіма транспортними засобами [7].

Як ми бачимо, ця постановка задачі майже повністю відповідає умовам підзадачі визначення оптимального маршруту перевезення матеріалів на об'єкт будівництва, але замість обмеження по часу, необхідно використовувати пріоритети об'єктів.

Для вирішення даної задачі використовується багато методів, майже усі з яких відносяться до метаевристичних методів, а саме: генетичні алгоритми [7], мурашиний алгоритм [8], різні евристичні алгоритми [9], програмування з обмеженнями [10].

Авторами статті пропонується використовувати

ти генетичний алгоритм.

Даний алгоритм буде складатися з трьох операторів[11]:

1. Оператор ініціалізації генерує нові ланцюжки хромосом, які є частиною загальної популяції. Основною задачею модифікованого оператора ініціалізації є генерація маршрутів так, щоб вони були коректні, тобто відповідали умовам, які подані в постановці задачі, а також мінімізувати шлях, пройдений кожною машиною. В даному операторі об'єкти спочатку будуть кластеризовані за допомогою методу k-середніх[12], тобто об'єкти, які знаходяться на мінімальній відстані один від одного, після чого буде побудовано маршрут для кожної вантажівки з урахуванням її вантажопідйомності.

2. Оператор мутації. Його задачею є зміна хромосоми так, щоб не порушити виконання умов і цілей поставленої задачі. Для цього маршрути по черзі піддаються мутації. Для кожного маршруту оператор виконує перестановку пунктів призначень, що входять у маршрут. У даному випадку в операторі мутації буде відбуватися сортування об'єктів відповідно до їх пріоритетів.

3. Оператор схрещування призначений для отримання нових рішень на основі тих, що знаходяться в даний момент в популяції. Він отримує на вхід дві або більше хромосом, на виході видає комбіноване рішення, яке побудоване на основі вхідних рішень. При вирішенні ТЗ з використанням ГА він працює так, щоб не тільки отримати нові маршрути, а й зменшити їх число, скоротивши тим самим кількість транспортних засобів.

Оператор мутації призначений для виведення популяції з локального оптимуму. Він отримує на вхід хромосому і з деякою вірогідністю інвертує частину її генів. Після цього також необхідно повторити

ти сортування об'єктів у маршруті за пріоритетами.

При цьому необхідно пам'ятати, що метаевристичні методи вирішення задач не дають оптимального рішення, вони лише знаходять локальний оптимум. Таким чином, в залежності від бажаного максимального кілометражу та максимальної кількості вантажних автомобілів(маршрутів, оскільки використання даного методу передбачає на один маршрут одну вантажівку) рішення задачі буде різним. При цьому кількість автомобілів напряму залежить від кількості кластерів. При цьому за обмеження розрахунку пропонується використовувати кілометраж та кількість ітерацій розрахунку. Загальний алгоритм вирішення підзадачі маршрутизації у рамках комплексної задачі оперативного управління вантажоперевезеннями у будівництві наведено на рис. 2.

Опишемо кожен з процедур більш докладніше. Процедура ініціалізації ГА.

1. Спочатку відбувається кластеризація пунктів методом k-середніх за географічною ознакою. У результаті в одному кластері виявляться точки, відстань між якими мінімальна.

2. Виконується ітерація по кожному кластеру.

3. Якщо довжина поточного кластера Р дорівнює 0, переходимо до наступної ітерації.

4. Отримуємо випадковий елемент поточного кластера, Е.

5. Якщо даний елемент можна записати в маршрут, що формується то заносимо його до маршруту г, інакше повертаємо у кластер.

6. Якщо сумарна потреба в пунктах в новому маршруті г більше або дорівнює сумарній потребі в пунктах, що залишилися в поточному кластері, або сумарна потреба в пунктах в новому маршруті г менше за q, то слід повторити цикл.

7. Останньому елементу вектора, що містить

Таблиця 1. Порівняння результатів

Тест	Програмне забезпечення		Алгоритм ГА [12]		Найкращі результати	
	Кількість автівок	Відстань	Кількість автівок	Відстань	Кількість автівок	Відстань
r101	18	2027,448	18	2068,517	19	1645
r102	16	2064,361	16	1977,447	17	1486
r103	12	1939,477	11	1962,812	13	1292
r104	10	2033,706	8	1902,695	9	960
r109	10	1931,2	10	1845,493	11	1194
r110	10	1762,21	9	1866,093	10	1118

маршрут, додають час старту даного транспортно-го засобу.

Процедура мутації маршрутів. У даній процедурі відбувається зміна порядку слідування пунктами у маршруті відповідно до часу доставки (для підзадачі маршрутизації пріоритету об'єкта). На даному етапі в операторі мутації відбувається сортування об'єктів будівництва відповідно до пріоритетів.

Процедура схрещення. Тобто отримання нових маршрутів зі старих. Схрещення відбувається наступним чином:

1. Виконуємо ітерацію по всіх маршрутах.
2. Отримуємо номери маршрутів для схрещення.
3. Записуємо в об'єднаний маршрут дані з двох маршрутів.
4. Поки в об'єднаному маршруті є елементи
5. Генеруємо випадковим чином номер поточного маршруту і записуємо його в  $S$ , якщо генерація вже відбулася, то беремо той, з яким ще не працювали.
6. Якщо поточний елемент  $S[i]$  вже міститься в результуючому маршруті, він пропускається.
7. Вибирається маршрут з  $g$ , в якому сумарна потреба клієнтів менша, ніж у переданому клієнту з номером  $S[i]$ .
8. Якщо такий клієнт знайдений, то  $k$  буде містити індекс його маршруту в  $g$ .
9. Додаємо поточний пункт або в  $g[k]$ , або в  $E$ , якщо немає маршруту, що задовольняє умову.
10. У  $g$  буде додано маршрут, який містить точки, які не вдалося додати до жодного з існуючих маршрутів.
11. Записуємо отримані маршрути у новий список маршрутів.
12. Сортуємо список маршрутів відповідно до пріоритетів.

Процедура розрахунку сумарного кілометражу і кілометражу по всіх маршрутах. Загальний кілометраж розраховується наступним чином:

1. Виконується ітерація по всіх маршрутах.
2. Поточний маршрут записується у проміжну зміну  $P$ .
3. Доки в  $P$  є хоча б один пункт.
4. Шукаємо вершину з поточним номером і додаємо відстань до неї у масив кілометражу для даного маршруту  $kilom$ . Якщо це перша або остання вершина, то додаємо відстань до депо.
5. Обраховуємо загальний кілометраж як суму кілометражу по всіх маршрутах.

Для перевірки роботи даного методу авторами

було розроблено програмне забезпечення та проведено його тестування відповідно до прикладів у [12,13].

Тестування проводилося на тестових завданнях Соломона [13]. Тестові завдання розділені на класи:

- \* R — клієнти географічно розподілені рівномірно-імовірнісним чином;
- \* C — клієнти розташовані групами;
- \* RC — частина клієнтів розташована групами, а решта розподілена рівномірно-імовірнісним чином.

У кожній задачі 100 клієнтів, депо (пункт призначення під номером 1), максимальна вантажопідйомність транспортного засобу. У таблиці наведено порівняння роботи алгоритму з кращими рішеннями та рішеннями, запропонованими у [12].

З таблиці видно, що розроблене програмне забезпечення працює вірно, оскільки дані, розраховані за допомогою програми, практично збігаються з даними запропонованими в [12], а найкращі результати алгоритм перевершує за кількістю необхідних машин, але програє по пройденій відстані.

Отримані дані отримані при різних значеннях кількості кластерів. Так, для рішення перших двох задач необхідно 16-18 кластерів, а для рішення інших задач можна використовувати 6-8 кластерів.

Отже, даний алгоритм дозволяє ефективно вирішувати транспортні задачі з обмеженням за часом.

Основним недоліком даного алгоритму є велика залежність результатів від кількості кластерів.

## Висновки

Основною відмінністю розроблюваної математичної багатокритеріальної багатоцільової математичної моделі оперативного управління логістикою вантажоперевезень від вже існуючих є орієнтація не на вирішення окремої задачі маршрутизації між об'єктами будівництва та складом(складами), а на використання комплексного логістичного підходу, коли враховується не лише найкоротший маршрут, а і й багато інших критеріїв, головним з яких є пріоритет об'єктів будівництва. Таким чином, розроблений за допомогою даної моделі план вантажоперевезень буде спрямований на те, щоб доставляти якомога більшу кількість вантажів на об'єкти з найбільшими пріоритетами по найкоротшому маршруту динамічної транспортної мережі. При цьому задача поділяється на певну кількість підзадач, які можна вирішувати окремо та незалежно одна від одної.

Таким чином, на будь якому кроці моделювання можна зупинитися та змінити певні дані, що дає більш широкі можливості для проведення моделювання.

Крім того, одну з підзадач, а саме підзадачу маршрутизації пропонується розглядати як динамічно транспортну задачу з обмеженнями у часі, для вирішення якої можна використовувати генетичні алгоритми.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Задоров В.Б., Федусенко О.В., Федусенко А.О. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації до планування вантажних перевезень // Управління розвитком складних систем. — 2010. — Вип. 2. С. 23 — 27.

2. Задоров В.Б., Федусенко О.В., Федусенко А.О. Розробка моделі ІС оперативного управління логістикою вантажоперевезень // Управління розвитком складних систем. — 2013. — Вип. 16. — С. 98—102.

3. Федусенко А.О. Розробка багатокритеріальної моделі оперативного управління логістикою вантажоперевезення у будівництві // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. — 2013 №11 — с. 233—238.

4. Умбетов У.У., Ху Вен-Цен, Иманова У.Ж. Декомпозиция динамических задач управления // Современные наукоемкие технологии. — 2013. — № 5. — стр. 85—89.

5. Ху Вен-Цен., Умбетов У. Децентрализованное управление многомерными объектами с декомпозицией по ситуациям ISSN 0002-3191. Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, Серия физико-математическая — 2007— №1— С. 82—85.

6. Задоров В.Б., Красовська Г.В., Красовський К.М. Принципи побудови умовно-замкнених структурних моделей організаційних систем управління // Управління розвитком складних систем. — Київ: КНУБА. — 2010 №1 — с. 35—39.

7. Емельянова Т.С. Решение эталонных транспортных задач с кластерным расположением клиентов с использованием генетических алгоритмов // Нечеткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2008) : сб. науч. тр. Второй Всеросс. науч. конф. с междунар. участ. Т. 1. 2008. — С. 195—199.

8. Vladimir Vacic and Tarek M. Sobh. Routing Problem with Time Windows. Department of Computer Science and Engineering University of Bridgeport,

Bridgeport, USA. 2002. URL: [vladi-mir@vacic.org](mailto:vladi-mir@vacic.org), [sobh@bridgeport.edu](mailto:sobh@bridgeport.edu) Vehicle (дата обращения: 20.03.2009).

9. 3. Roberto De Franceschi, Matteo Fischetti, Paolo Toth. A new ILP-based refinement heuristic for Vehicle Routing Problems. 2004.

10. Paul Shaw. Using Constraint Programming and Local Search Methods to Solve Vehicle Routing Problems. Department of

11. Любимов С.В., Ситюк В.Г. Решение эталонной транспортной задачи с помощью генетических алгоритмов // Международный журнал "Программные продукты и системы". — М, № 4,34 — 37, 2009

12. Метод кластеризації на основі послідовного запуску k-середніх з обчисленням відстаней до активних центрів / О.М. Ткаченко, Н.О. Біліченко, О.Ф. Грійо-Тукало, О.В. Дзісь // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2012. — Т. 14, № 1. — С. 25—34. — Бібліогр.: 8 назв. — укр.

#### АННОТАЦИЯ

Работа посвящена вопросам использования генетических алгоритмов для решения одной из подзадач комплексной задачи оперативного управления логистикой грузоперевозок в строительстве, а именно к подзадаче маршрутизации. Использование комплексного подхода к задаче оперативного управления логистикой грузоперевозок позволит повысить качество принятия управленческих решений в деятельности транспортного управления предприятия крупного строительного холдинга.

Ключевые слова: логистика грузоперевозок, оперативное управление, информационная система, системный анализ, генетические алгоритмы, мутация, инициализация, скрещивание.

#### ANNOTATION

The work is devoted to the use of genetic algorithms to solve a complex task with subtasks of operative management of freight logistics in construction, namely the routing subtasks. Using an integrated approach to the problem of operational freight logistics management will improve the quality of decision-making in business management transport enterprise of the building holding.

Keywords: freight logistics, operational management, information systems, systems analysis, genetic algorithms, mutation, initialization, cross.