

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Харківський національний університет радіоелектроніки

ДАЮБ ЯСЕР

УДК 004.5; 004.7; 004.8; 007.85

**МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ
ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖІВ ПІДВИЩЕНОЇ
НЕБЕЗПЕКИ**

01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Кузьомін Олександр Якович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри інформатики,
начальник інноваційно-маркетингового відділу.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сіроджа Ігор Борисович,
Національна академія природоохоронного та курортного
будівництва,
завідувач кафедри економічної кібернетики;

доктор фізико-математичних наук, професор
Ляшенко Ігор Миколайович,
Київський національний університет
ім. Тараса Шевченка,
професор кафедри математичної інформатики.

Захист відбудеться «___» _____ 2011 року о ___-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166 м. Харків, просп. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «___» _____ 2011 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д64.052.01

С.Ф. Чалий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сьогодні все більшого значення набуває розробка й впровадження методів для зниження ризиків перевезень при транспортуванні небезпечних вантажів (НВ). Необхідні заходи, спрямовані на зниження часу проходження маршруту й зменшення різних ризиків, пов'язаних із прогресуючим ускладненням середовища руху з погляду потенційної небезпеки або, інакше кажучи, виникнення надзвичайних ситуацій (НС) на маршруті руху, інтенсифікацією перевізного процесу й характеристиками надійності транспортних засобів. Приріст вантажообігу в 2006 році склав 4,3%, а приріст обсягу перевезень НВ за цей же рік зріс більш ніж на 6%. Очевидна складність завдання укладена вже в самій назві, тому що припускає одночасну оптимізацію в умовах невизначеності по декількох параметрах. Клас завдань пошуку оптимального маршруту, для якого за час проходження будь-якої його частини можуть змінитися умови проходження його ділянок, отримує назву «динамічних транспортних завдань». Прийнято умовно розділяти процес планування й виконання проходження маршруту. Можна відзначити, що у вітчизняній і закордонній практиці не існує остаточно сформованих наукових основ, які б забезпечили безпеку транспортних систем, людей і навколишнього середовища за критеріями ризику. Особливо актуальною стає ця проблема сьогодні у зв'язку з поширенням у світі терористичних дій та прояву різноманітних НС.

Разом з тим практикою ліквідації наслідків НС в Україні й в інших країнах вірогідно підтверджено, що витрати на ліквідацію наслідків НС багаторазово перевищують витрати на їхнє попередження.

Вищесформульоване завдання, до сьогодні поставлене не було, хоча в загальному випадку для транспортної задачі (ТЗ) з одним критерієм існує досить багато методів розв'язань. Крім того вирішення динамічної ТЗ оптимізації в умовах невизначеності для одного параметра стає недоцільним.

Таким чином, *актуальною науково-технічною задачею* є розробка методів та моделей вирішення динамічної транспортної задачі керування щодо примусової зміни маршруту внаслідок виникнення НС при перевезенні вантажів підвищеної небезпеки (паливних чи мастильних матеріалів, грошей, хімічних добрив тощо), які б ураховували оцінку розв'язків в умовах ризику на маршруті.

Зв'язок роботи з науковими програмами та планами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки у рамках реалізації Державної науково-технічної програми «Створення Державної інтегрованої системи забезпечення керування рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження)», затвердженої Кабінетом міністрів України (постанова №834 від 17.09 2008 р.). У рамках цієї теми автор, як виконавець, запропонував й дослідив методи та моделі вирішення динамічної транспортної задачі керування щодо примусової зміни

маршруту внаслідок виникнення НС при перевезенні вантажів підвищеної небезпеки.

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка методів та моделей оптимізації переміщення вантажів підвищеної небезпеки, спрямованих на прийняття оперативних, тактичних і стратегічних рішень та зниження збитків і ризиків від виникнення надзвичайних ситуацій на маршрутах проходження об'єктів з небезпечними вантажами.

Для досягнення мети досліджень і розв'язку сформульованої науково-технічної задачі необхідно:

- проаналізувати поточний стан проблемної області, яка досліджується;
- використовуючи системний аналіз, розробити метод та моделі для оперативного пошуку рішень щодо примусової зміни маршруту внаслідок виникнення НС;
- розробити метод вирішення динамічної транспортної задачі керування при перевезенні вантажів підвищеної небезпеки;
- розробити метод багатокритеріальної оптимізації для підтримки прийняття стратегічних рішень з використанням вдалих прецедентних рішень;
- розробити метод розрахунку ризиків виникнення надзвичайних ситуацій на маршруті перевезень небезпечних вантажів та ймовірність виникнення «каскадного» розширення надзвичайних ситуацій.

Об'єктом дослідження є процес переміщення небезпечних вантажів з урахуванням виникнення на їх шляху надзвичайних ситуацій.

Предмет дослідження – методи та моделі оптимізації переміщення вантажів підвищеної небезпеки для прийняття оперативних, тактичних та стратегічних рішень в умовах, які залежать від надзвичайних ситуацій.

Методи дослідження: методи системного, статистичного аналізу для дослідження динамічної транспортної задачі, методи експертних оцінок, математичного аналізу, евристичного та математичного програмування для модифікації мурахоподібних алгоритмів, багатокритеріальної оптимізації й теорії прийняття рішень для побудови методів керованої еволюції.

Наукова новизна дослідження полягає в тому що:

- вперше виконано постановку динамічної транспортної задачі керування щодо примусової зміни запланованого маршруту у випадку виникнення надзвичайної ситуації на маршруті транспортування небезпечних вантажів; для її вирішення запропоновано модель представлення транспортної мережі у вигляді графа спрямованої еволюції, модель процесу прийняття стратегічних та оперативних рішень з урахуванням історії у вигляді множини апіорних мікроситуацій, що дозволило реалізувати прогнозування розвитку сценаріїв ситуацій та скоротити час прийняття керуючих тактичних чи стратегічних рішень стосовно зміни маршруту;

- вперше запропоновано метод оперативного пошуку керуючих рішень зі зміни маршруту, який враховує на початковому етапі історію подібних надзвичайних ситуацій у вигляді множини апіорних мікроситуацій, та реалізує

на наступному етапі активно керовану еволюційну стратегію зі спрямованою еволюцією у комбінації з «мурахоподібною моделлю», що дозволило забезпечити прийняття більш ефективних оперативних рішень з керування перевезенням небезпечних вантажів за мінімальний час;

–набув подальшого розвитку метод багатокритеріальної оптимізації маршруту транспортування небезпечних вантажів, який на відміну від існуючих використовує вдалі прецедентні рішення та враховує у моделі транспортної мережі евристичні генерації нового альтернативного рішення і шляхом накладання штрафів на неефективні фрагменти забезпечує оптимізацію стратегічних рішень для управління транспортуванням небезпечних вантажів, що дозволяє прогнозувати значення ризику, стосовно стратегічного управління;

–набув подальшого розвитку метод розрахунку ризиків виникнення надзвичайних ситуацій при транспортуванні небезпечних вантажів, який на відміну від існуючих пропонує на першому етапі враховувати узагальнені дані по вантажопотоках, у наступному – конфігурацію транспортної мережі, геоінформаційну прив'язку, що дозволяє розрахувати безпечну швидкість руху, кількість небезпечних вантажів та ймовірність виникнення «каскадного» розширення надзвичайних ситуацій.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що розроблені моделі та методи дозволяють знизити ризики і збитки від виникнення транспортних подій, сформувані при виникненні НС найбільш безпечні маршрути проходження транспорту, навчити персонал керуванню транспортуванням НВ в умовах виникнення НС, а також виробити рекомендації щодо зниження ризиків.

Основні результати досліджень, зокрема метод планування оптимального маршруту з урахуванням ризиків, використовуються при плануванні маршрутів та проведенні тренувань інкасаторських груп у публічному акціонерному товаристві «Східно – український банк «Грант» (Довідка №2050/06-1-01 від 18.01.11р.) та ХФ АКБ «ТАС – Комерцбанк» (Довідка №0411-01 від 04.11.10р.).

Апробація роботи. Результати досліджень, проведених у дисертаційній роботі, доповідалися й обговорювалися автором на Міжнародних конференціях «KDS-2008» (Ужгород, Bulgaria - Ukraina, 2008 p.), «iTECH - 2010» (Varna, Bulgaria, 2010 p.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 7 наукових праць (5 статей у фахових виданнях України, 2 тези доповіді на міжнародних наукових конференціях «KDS-2008» і «iTECH - 2010»).

Особистий вклад здобувача. Усі положення дисертаційної роботи, які виносяться на захист, основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, отримано здобувачем особисто.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації: у [1] – використання активно керованої еволюційної стратегії зі спрямованою еволюцією у комбінації з «мурахоподібною моделлю», у [2] – побудова моделі транспортної мережі з урахуванням ризиків, аналіз методів вирішення динамічної

транспортної задачі керування щодо примусової зміни запланованого маршруту, у [4] – оптимізація прийняття рішень, у [5] – постановка динамічної транспортної задачі керування щодо примусової зміни запланованого маршруту у випадку виникнення надзвичайної ситуації на маршруті транспортування небезпечних вантажів, метод оперативного пошуку керуючих рішень зі зміни маршрутизації, метод багатокритеріальної оптимізації маршруту, метод розрахунку ризиків.

Наукові праці апробаційного характеру: у [1] – результати випробування запропонованого методу з активно керованої еволюційної стратегії зі спрямованою еволюцією у комбінації з «мурахоподібною моделлю», у [2] – результати тестування методів вирішення динамічної транспортної задачі керування щодо примусової зміни запланованого маршруту.

Опубліковані *праці, які додатково відображують наукові результати дисертації:* [3,6,7]

У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: у [1] – використання активно керованої еволюційної стратегії зі спрямованою еволюцією у комбінації з «мурахоподібною моделлю» та результати випробування, у [3] – моделювання та метод оптимального прийняття рішень, у [4] – оптимізація прийняття рішень; [6] – метод розрахунку ризиків перевезень небезпечних вантажів; [7] – використання множини мікроситуацій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків, загальним обсягом 138 сторінок основного тексту. Робота має 18 ілюстрацій на п'яти сторінках, 5 таблиць на двох сторінках, список використаних джерел зі 120 найменуваннями на дев'яти сторінках, 2 додатки на двох сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційного дослідження, визначаються мета, завдання, об'єкт і предмет дослідження, методологічні основи його проведення.

У вступі також відображені наукова новизна виконаного наукового дослідження й практична значущість роботи.

У **першому розділі** було виконано аналіз сучасного дослідження динамічної транспортної задачі. Встановлено що, насамперед треба використати ті методи та моделі, які враховують свої найкращі можливості для врахування надзвичайної ситуації на маршруті транспортування небезпечних вантажів. Серед них є такі: «мурахоподібні моделі», які пов'язані з урахуванням попередньої історії транспортування, активно керовані еволюційні стратегії зі спрямованою еволюцією, евристичні генерації нового альтернативного рішення з накладанням штрафів, вдалі прецедентні рішення та мікроситуаційне представлення осередку надзвичайної ситуації. Крім того, розглянуто методи системного аналізу транспортної задачі з урахуванням мінімізації ризиків і сформульовано задачу для дослідження.

У загальному вигляді **завдання дослідження** може бути сформульоване так: необхідно розробити моделі та методи вирішення динамічної транспортної задачі мінімізації ризиків, які враховують історію подібних надзвичайних ситуацій для пошуку рішень щодо зміни запланованого маршруту транспортування небезпечних вантажів при виникненні на маршруті надзвичайної ситуації, за критеріями часу, матеріальних витрат, мінімальних ризиків та реалізують прогнозування розвитку сценаріїв виникнення надзвичайних ситуацій.

Під вирішенням задачі розумітимемо маршрут $\langle i...j \rangle$, що описує послідовність проходження вузлів та ребер графу транспортної мережі, та відповідає раніше сформульованим критеріям щодо величин максимального ризику на шляху прямування, довжини маршруту, часу виконання тощо.

Для оцінки ефективності запропонованих рішень за базовий критерій запропоновано математичне очікування $M_{\langle i...j \rangle} [Y]$ кількості збитків від НС при виконанні перевезення НВ.

Цей показник найбільш повно характеризує міру небезпеки НС. Він також може бути критерієм для оцінки ризиків від можливих НС на маршруті у транспортному графі $G(V,E)$ протягом заданого інтервалу часу t .

Таким чином динамічна транспортна задача багатокритеріальної оптимізації з урахуванням ризиків за час t на маршруті $\langle i...j \rangle$ може бути записана таким чином:

$$\begin{aligned}
 M_{\langle i...j \rangle} [Y] = & \min_{\langle i...j \rangle} M_l[Y] \rightarrow \min, \\
 & t(\langle i...j \rangle) \rightarrow \min, \\
 & \max_{\langle i...j \rangle} P(l) \rightarrow \min, \\
 M_l[Y] = & \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^k Q_{ab}^1(\tau) Y_{ab}^1 + \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^k Q_{ab}^2(\tau) Y_{ab}^2 + \sum_{v=1}^n Q_v(\tau) Y_v, \\
 & \langle i...j \rangle \in G(V,E), \\
 \forall l \in E: P(l) = & Q_{ab}^1 + Q_{ab}^2,
 \end{aligned} \tag{1}$$

де $a = \overline{1, m}$ – кількість типів можливих НС: аварія ($a=1$), нещасний випадок ($a=2$), пожежа ($a=3$) і т.д. – форм принесення прямих та непрямих збитків людським, матеріальним та природним ресурсам; $b = \overline{1, k}$ – кількість передбачуваних сценаріїв виникнення й розвитку різних типів події (як правило, найбільш імовірних і найбільш важких за наслідками); Q_{ab}^1, Q_{ab}^2 – імовірність виникнення в момент часу τ події конкретного виду й Y_{ab}^1, Y_{ab}^2 – розмір обумовленого їм прямого і непрямого збитку відповідно; $v = \overline{1, n}$ – число видів безперервних НС

і/або систематичних шкідливих енергетичних (шум, вібрація, електромагнітні випромінювання) і матеріальних (забруднюючі речовини, відходи) викидів при експлуатації технології; Q_v – імовірності появи в момент часу τ кожного типу безперервних або систематичних шкідливих викидів і Y_v розміри можливого від них прямого й непрямого збитку. Така статистика може бути отримана шляхом статистичного аналізу й експертних оцінок на підставі даних про НС у зоні транспортування НВ.

Використовуваний уніфікований критерій дозволяє ефективно оцінювати захід ризику для різних варіантів маршрутів. Оцінка заходу ризику зміненого маршруту знижує Q_{ab}^1, Q_{ab}^2 ймовірності й Y_{ab}^1, Y_{ab}^2 розміри збитків відповідно. Це дозволить кількісно оцінювати ефективність прийнятих рішень.

Згідно з (1) завдання пошуку оптимального маршруту $\langle i...j \rangle$ є завданням багатокритеріальної оптимізації за параметрами математичного очікування втрат $M_{\langle i...j \rangle} [Y]$, часу на виконання цього маршруту $t(\langle i...j \rangle)$, та максимального ризику $P(l)$ на шляху прямування. Величину ризику оцінюватимемо як суму ймовірностей виникнення подій конкретного виду на ребрі l , що належить до шляху прямування.

Застосування алгоритмів як евристичних, так і активно керованих для NP-повних завдань, для ТЗ із обмеженням за часом не є тривіальним завданням.

У другому розділі запропоновано метод оперативного пошуку рішень щодо зміни маршруту при виникненні на поточному маршруті надзвичайної ситуації з використанням апарату мікроситуацій у комбінації з «мурахоподібною моделлю», а також модель представлення транспортної мережі у вигляді графа спрямованої еволюції, модель процесу прийняття стратегічних та оперативних рішень з урахуванням історії у вигляді множини апіорних мікроситуацій.

Під НС будемо розуміти виникнення у вузлі або на дузі маршруту ризику, що перевищує допустиму величину ризику $R_{\max}$, що, в свою чергу, призводить до неможливості продовження прямування маршрутом. Сукупність кількісних та якісних параметрів, що призводять до виникнення надзвичайної ситуації називатимемо ситуацією, та позначатимемо літерою S .

Для методу оперативного пошуку рішень **на початковому етапі** для забезпечення керування транспортними потоками в разі виникнення НС необхідно забезпечити ефективне представлення поточного стану моделлю транспортної мережі, в якій враховуються кількісні та якісні параметри $x = \bigcup_{i=1}^m x_i, x_2, \dots, x_p \bigcup_{\alpha=1}^p$ умов транспортування (характеристики транспорту, дороги, метеорологічні умови та ін., крім того параметри, які характеризують НС) та поняття множини мікроситуацій $\{S_i\}, i=\overline{1,m}, S_i = S(x_\alpha), \alpha=\overline{1,p}$, що відображує апіорну інформацію стосовно подібних надзвичайних ситуацій, для ліквідації яких були прийняті найбільш вдалі рішення в сенсі задоволення заданих критеріїв

оцінки вжитих заходів. Крім того, до моделі включимо множину рішень $\{\gamma_\alpha\}$ $\alpha = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_m$ та множину можливих сценаріїв виникнення та розвитку НС $\{S_j\}$, $j = \overline{1, n}$.

На наступному етапі методу для оцінки ефективності заходів з мінімізації ризиків НС необхідно ввести модель процесу прийняття рішень. У роботі досліджувалась модель оптимізації прийняття рішень для умов невизначеності ризиків можливих сценаріїв виникнення НС:

$$\min_{D(\gamma/S_i, \bar{C})} R = \min_{D(\gamma/S_i, \bar{C})} \sum_{\alpha=1}^m \sum_{i=1}^n e_i^r e_\alpha^r q(S_i, \gamma_\alpha) P(\gamma_\alpha / S_i), \quad (2)$$

де $D(\gamma/S, \bar{C})$ – структура моделі, яка має вирішальні правила; $\bar{C} = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ – параметри моделі; $P(\gamma_\alpha / S_i)$ – вірогідність прийняття рішень $\{\gamma_\alpha\}$ у можливому сценарії виникнення НС, (S_i, γ_α) – елементи підвищеного ризику, які враховуються при прийнятті рішень $\{\gamma_\alpha\}$, в ситуації S_k ; $q(S_k)$ – апіорна вірогідність ситуації S_k .

Мікроситуації $\{S_i\}$, $i = \overline{1, m}$, $S_i = S(x_\alpha)$, $\alpha = \overline{1, p}$, що будуються на підставі апіорної інформації, ранжуються стосовно їх близькості до еталонної мікроситуації S_{et} . Побудова вектора ваг критеріїв $\bar{a}^r \{\bar{a}_1^r, \bar{a}_2^r, \dots, \bar{a}_i^r\}$ у сценарії виникнення НС здійснюється за допомогою алгоритму навчання.

На наступному етапі методу реалізується процедура перетворення, тобто побудова своєї функції переваги в ситуації S_r :

$$F^r = \sum_i e_i^r a_i^r f_i^r(X), \text{ де } \sum_i e_i^r a_i^r = 1. \quad (3)$$

Вирішення завдання в сценарії виникнення НС S_r зводиться до такої задачі математичного програмування:

$$\text{визначити } \max_X \sum_i e_i^r a_i^r f_i^r(X) \text{ при } \{\bar{A}^r\}. \quad (4)$$

Дослідження можливості застосування «мурахоподібної моделі» призвели до необхідності розробки активно керованого алгоритму представлення транспортної мережі у вигляді графа зі спрямованою еволюцією. Запропонована модель опрацьовує декілька варіантів маршрутів і видає «рекомендований», на якому залишилася найбільша «концентрація феромону». Формула для вибору маршруту мурахою виглядає так:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{(\tau_{ij}(t))^\alpha (v_{ij})^\beta}{\sum_{i \in J_i^k} (\tau_{il}(t))^\alpha (v_{ij})^\beta}, \quad (5)$$

де k – номер мурахи; i – точка, у якій мураха перебуває; j – точка, у яку може перейти мураха; p_{ij}^k – імовірність вибору переходу $i - j$ для мурахи k ; t – момент (етап) розвитку колонії мурах; τ – концентрація феромону на дистанції; v – швидкість мурахи на переході $i - j$, обернено пропорційна довжині переходу; J_i^k – список дозволених для переходу точок; α і β – коефіцієнти, що показують вагу феромону й відстані при виборі переходу. У сформульованому вище виді задача дослідження в жодній з опублікованих робіт поставлена не була. Крім того, задачу не можна звести до одного параметра.

Для вирішення динамічного завдання була побудована модель, у якій стандартне правило (6) випару феромону:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \tau_{ij}(t), \quad (6)$$

де τ_{ij} – коефіцієнт, що показує швидкість випару феромону, для урахування ризику було модифіковано у вигляді (7):

$$\tau_{ij}(t+1) = \begin{cases} (1 - \rho)(1 - R_{ij})\tau_{ij}(t), & R_{ij} < R_{\max} \\ 0, & R_{ij} \geq R_{\max} \end{cases}, \quad (7)$$

де R_{ij} – рівень ризику на відповідному ребрі, $R_{ij} \in (0;1)$.

Перевірка ефективності запропонованого алгоритму проводилася шляхом виконання пошуку у мережі з 256 та 1024 вузлів. При цьому кожна мережа виконувалася 100 разів, і оцінювалися результати, за яких система входить до вузла, з якого не має виходу. Результати досліджень наведено в табл. 1.

У третьому розділі запропоновано метод багатокритеріальної оптимізації маршруту транспортування небезпечних вантажів, який враховує у моделі транспортної мережі евристичні генерації нового альтернативного рішення з накладанням штрафів на неефективні фрагменти мережі.

Запропонований метод багатокритеріальної оптимізації транспортної задачі з використанням вдалих прецедентних рішень має ітеративну двоетапну процедуру, направлену на формування наближеного рішення на першому етапі, та послідовного його покращення на наступних етапах.

Таблиця 1 – Результати досліджень

Кількість вузлів	Характер функцій $R(t)$ і $T(t)$	Час розрахунків, с	Середній час досягнення мети (умовні од.)	Оцінка входу до тупика
256	періодичні	1,86	315,52	1,4 %
1024	періодичні	35,84	962,13	2,2 %
256	стохастичні	2,09	426,84	7,0 %
1024	стохастичні	43,26	1266,38	3,8 %

Етап 1:

Крок 1.1. За допомогою гібридного евристичного методу створюється початковий розв'язок S^0 .

Крок 1.2. Виконується ініціалізація параметрів штрафу й установка значень $c^1=0, c^2=0, i=0$.

Крок 1.3. Застосовується модифікована процедура порядку заправлення до S^0 , доки число маршрутів в S^0 більше, ніж $\bar{k}$ або доти, доки немає маршрутів, які можуть бути ліквідовані.

Крок 1.4. Задається найкращий глобальний розв'язок $S^{**}=S^0$.

Етап 2:

Крок 2.1. Виконується повторна ініціалізація параметрів штрафу – $i=0, c^2=0, S_i=S^{**}$ і визначається $c_{\max}^2$ випадковим чином між 5000 і 50000.

Крок 2.2. Визначити дугу, на яку в цей момент слід накласти штраф в S_i , перерахувати штрафи з урахуванням розподілу ризиків або інформації про дію на даній ділянці маршруту НС.

Крок 2.3. Визначити поточну округу змінних штрафу – PVN у межах S_i .

Крок 2.4. Створити новий розв'язок S^* , використовуючи керований локальний пошук у межах PVN розв'язку S_i .

Крок 2.5. Якщо S^* краще, ніж S^{**} , то встановити $S^{**}=S^*$.

Крок 2.6. Якщо S^* краще, ніж S_i , то відповідно базованій на процедурі керованого локального пошуку – GLS установити $i=i+1$, $c^1=0$, $c^2=0$, $S_i=S^*$ і перейти до кроку 2.2.

Крок 2.7. Якщо $c^1 < c_{\max}^1$ або, якщо розмір PVN < 25, установити $c^1=c^1+1$, $c^2=c^2+1$ і перейти до кроку 2.2.

Крок 2.8. Створити новий розв'язок S^* , використовуючи процедуру локального пошуку – ES у межах PVN і розв'язку S_i .

Крок 2.9. Якщо S^* краще, ніж S^{**} , то встановити $S^{**}=S^*$.

Крок 2.10. Якщо S^* краще, ніж S_i відповідно базованій на виконанні процедури керованого локального пошуку – GLS цільової функції, то встановити $i=i+1$, $c^2=0$, $S_i=S^*$ і переходимо до кроку 2.8.

Крок 2.11. Якщо критерій зупинки задоволений, то зупинити пошук і повернутися до найкращого глобального розв'язку S^{**} .

Крок 2.12. Установити $c^1=0$, $c^2=c^2+1$.

Крок 2.13. Якщо $c^2 < c_{\max}^2$, то переходимо до кроку 2.2. Інакше переходимо до кроку 2.1.

Результати порівняльного тестування методу наведено в табл. 2.

Як видно з табл. 2 запропонований метод забезпечує результати, що можуть бути порівняні з методом виключення ланцюжків та іншими методами спрямованої еволюції, але забезпечує прийняття рішення в суттєво менший час.

Таблиця 2 – Результати порівняльного тестування методу

Метод	Час роботи, хв.	Відхилення, %
Паралельний пошук із заборонами	22,3	3
Адаптивна пам'ять	17,0	0
Гранулярний пошук із заборонами	14,84	6,3
Виключення ланцюжків	29,91	2,2
Запропонований метод	0,27	2,6
Спрямована еволюція (кращий пошук)	7,72	2
Мурашиний алгоритм	49,02	6
Генетичний алгоритм	22,04	4,9

У четвертому розділі запропоновано метод розрахунку ризиків виникнення надзвичайних ситуацій при транспортуванні небезпечних вантажів, який враховує узагальнені дані по вантажопотоках, конфігурацію транспортної мережі, геоінформаційну прив'язку та сценарії відомих надзвичайних ситуацій.

Метод розрахунку ризиків виникнення надзвичайних ситуацій при транспортуванні вантажів підвищеної небезпеки для транспортної мережі QN_i містить у собі такі кроки:

Крок 1. Одержання узагальнених даних по вантажопотоках. Ці дані містять у собі: обсяги вхідних і вихідних потоків по кінцевих елементах транспортної мережі (джерела й одержувачі вантажів) за одиницю часу.

Крок 2. Розрахунок фіктивних потоків по кожній дузі мережі на підставі даних, отриманих на кроці 1. На цьому етапі проводиться оцінка – чи може транспортна мережа при даній конфігурації забезпечити надійне обслуговування/транспортування вантажів, геоінформаційна прив'язка.

Крок 3. Формування списку можливих сценаріїв НС для вхідного й вихідного вантажопотоку кожного вузла мережі. Далі, для кожного з можливих сценаріїв виникнення НС, кожного маршруту й кожної дуги проводяться наступні розрахунки згідно з кроками 4–13.

Крок 4. Одержання характеристик транспортного потоку: m – кількість типів НВ у вихідному потоці; n – кількість типів НВ у вхідному потоці; m_c – кількість відомих сценаріїв виникнення НС у вихідному потоці; n_c – кількість

відомих сценаріїв виникнення НС у вхідному потоці; крім того, $m \mid m_c$, $n \mid n_c$, тому що одному вантажу може відповідати більш одного сценарію виникнення НС; $N_1 \dots N_m$, $M_1 \dots M_n$ – обсяги перевезень відповідних типів НВ в одиницю часу у вихідному та вхідному потоці відповідно.

Крок 5. Одержання або розрахунки на основі статистики апіорних ймовірностей виникнення НС для різних вантажів у вихідному ($Q_{N_1 \dots N_{m_c}}$) і вхідному ($Q_{M_1 \dots M_{n_c}}$) потоках.

Крок 6. Одержання статистично значущих параметрів транспортної мережі. Значущість параметрів може визначатися виходячи зі специфіки завдання прогнозування. З метою спрощення завдання розглядатимемо тільки універсальні для будь-якого завдання характеристики: L – довжина транспортної мережі; $V_1 \dots V_m$ – середні швидкості перевезення відповідних вантажів у вихідному потоці; $W_1 \dots W_n$ – швидкості перевезення вантажів у вхідному потоці.

Крок 7. Для кожного небезпечного вантажу розраховуються швидкості його переміщення в околі вузла, що моделюється, для:

елементів k -го типу НВ у вихідному потоці:

$$\tau_k^{\text{вих}} = \frac{L}{V_k}, k = 1 \dots m; \quad (8)$$

елементів l -го типу НВ у вхідному потоці:

$$\tau_l^{\text{вих}} = \frac{L}{W_l}, l = 1 \dots n. \quad (9)$$

Крок 8. Побудова прямого і зворотного зв'язку «НВ – сценарій НС» для вихідного й вхідного потоків: $k=1 \dots m$ – індекс типів НВ вихідного потоку; $R(k)$ – множина індексів сценаріїв у результаті НС із вантажами k -го типу вихідного потоку ($1 \mid R(k) \mid m_c$); $l=1 \dots n$ – індекс типів НВ вхідного потоку; $R(l)$ – множина індексів сценаріїв у результаті НС із вантажами l -го типу вхідного потоку ($1 \mid R(l) \mid n_c$); $i=1 \dots m_c$ – індекс сценаріїв (варіантів розвитку НС) вихідного потоку; $X(i)$ – індекс типу небезпечного вантажу, що викликає i -й сценарій НС у вихідному потоці ($1 \mid X(i) \mid m$); $j=1 \dots n_c$ – індекс сценаріїв (варіантів розвитку НС) вхідного потоку; $Y(j)$ – індекс типу небезпечного вантажу, що викликає j -й сценарій НС у вхідному потоці ($1 \mid Y(j) \mid n$).

Крок 9. Розрахунки щільності НВ для наявних потоків (під щільністю розумітимемо середню кількість елементів НВ, що перебувають на дузі)

$$n_k = \frac{N_k * \tau_k^{\text{вих}}}{T_q}. \quad (10)$$

У такий самий спосіб підраховується середня кількість елементів НВ k -го типу вихідного потоку до цього моменту, що перебуває на дузі, $k=1 \dots m$:

$$m_l = \frac{M_l * \tau_l^{BX}}{T_q} . \quad (11)$$

Аналогічно оцінюється середня кількість елементів НВ l -го типу вхідного потоку, щодо цього моменту, що перебуває на дузі, $l=1 \dots n$; T_q – кількість годин у прийнятій одиниці виміру часу. Для забезпечення ефективного виміру рекомендується проводити аналіз статистики за строк не менш одного року.

Крок 10. Розрахунки ймовірності виникнення i -го типу НС у вихідному потоці в результаті виникнення НС j -го типу в одному з елементів вхідного потоку («каскаду» надзвичайних ситуацій, виникнення НС на одному з елементів маршруту призводить до каскадного порушення маршруту):

$$\Omega_{ij} = 2QN_j \int_0^{t_{\max}} P_{ij}(S(t)/V_i) dt , \quad (12)$$

де $t_{\max} = \frac{l_{ij}^{\max}}{V_{X(i)} + W_{Y(j)}}$ – час знаходження в зоні взаємовпливу до зустрічі елементів зустрічних потоків; $l_{ij}^{\max}$ – гранична відстань взаємовпливу i -го типу НС у вихідному потоці з появою у вхідному потоці НС j -го типу

$$S(t) = l_{ij}^{\max} - (V_{X(i)} + W_{Y(j)})t , \quad (13)$$

де $S(t)$ – відстань між елементами в конкретний момент часу, P_{ij} – умовна ймовірність виникнення i -го типу НС при виникненні НС j -го типу на відстані $S(t)$ між ними.

Крок 11. Оцінка ймовірності виникнення НС i -го типу в елементі вхідного потоку проводиться аналогічно кроку 10.

Крок 12. Розрахунки ймовірності виникнення НС i -го типу у вихідному потоці внаслідок виникнення групи (серії) НС у вхідному потоці:

$$P_i^{\text{каскад}} = \prod_{j=1}^n e^{-\Omega_{ij}} , \quad (14)$$

де $S(j)$ – множина сценаріїв НС, відповідних до поточного елемента j вхідного потоку.

Крок 13. Визначення уточненої ймовірності виникнення НС і-го типу для конкретного вихідного потоку:

$$QN_i^* = QN_i + \sum_{j=1}^n \frac{e^{2m_Y(j)t}}{S(j)} \cdot \frac{l_{ij}}{V_{X(i)} + W_{Y(j)}} \cdot \int_0^t P_{ij}(S(t)/V_i) dt, \quad (15)$$

де QN_i – апіорна ймовірність, отримана шляхом статистичного аналізу;

$\sum_{j=1}^n \frac{e^{2m_Y(j)t}}{S(j)}$ – підсумовування по всіх сценаріях розвитку НС; $2m_Y(j)t$ – середня

кількість елементів вхідного потоку з відповідними j -ми сценаріями реалізації небезпечних факторів. Для оцінки ефективності подібних процедур була проведена перевірка запропонованих моделей і методів. Як середовище для проведення перевірки була використана векторна мапа з такими властивостями: мапа складається з 25 окремих елементів, кожен з яких містить приблизно 50000 вузлів (перехресть); кожен два вузли, що пов'язані між собою, містять інформацію про тип дорожнього покриття; в окремому виді наявна статистика про кількість НС на кожному вузлі дороги, освітленість протягом доби, графік середньої швидкості руху. Один з фрагментів мапи наведено на рис. 1.

Чорними прямокутниками виділено обчислені місця з найбільшою ймовірністю виникнення надзвичайних ситуацій на шляху прямування.

Побудоване зображення використовувалося експертами при створенні еталонних маршрутів, з якими виконувалося порівняння.

Оцінка ризику на шляху прямування оцінювалася з урахуванням експертних оцінок впливу факторів, наявних у даних мапи на величину ризику (лінійна залежність). Для задач 1 і 2 основним кількісним показником вирішення задачі було забезпечення відхилення від довжини найкращого з запропонованих маршрутів не більш ніж на 20% та максимальна величина ризику на шляху прямування не більш заданого значення. За еталон було взято рішення, запропоноване експертами (процес узгодження рішення між низкою експертів опущено, за основу береться фінальне рішення групи експертів). Порівняльний результат роботи наведений у таблиці 3. Очевидно, що найбільшій ефективності запропоновані методи отримують в умовах тактичного управління, при побудові маршрутів в умовах великої кількості перехресть та наявності альтернатив.

При побудові маршрутів між містами (2000 км, задача 1) ефективність алгоритму є майже ідентичною з використанням експертного підходу. Це пов'язано зі специфікою графа, що поєднує різні міста – існує лише невелика кількість шляхів, що поєднують два міста, що спрощує роботу експертів.

Порівняння ефективності моделі проводитиметься з неадаптованим мурахоподібним алгоритмом (кількість ітерацій – 2000) з наростаючою

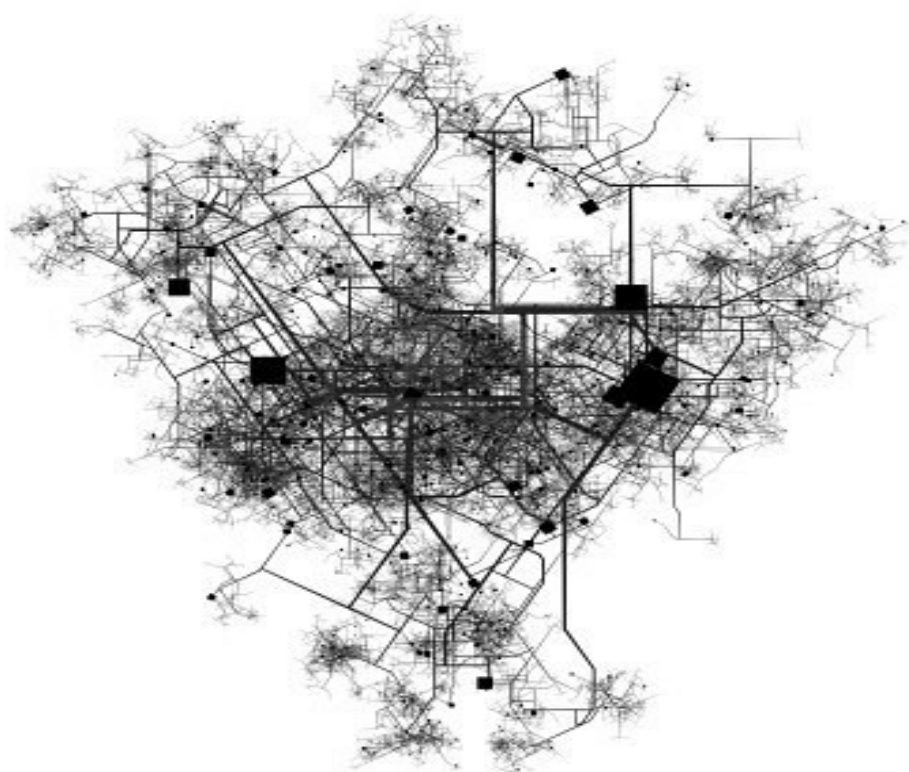


Рисунок 1 — Візуалізація ймовірності ризиків на шляху прямування

розмірністю задачі (кількістю вузлів, через які може бути прокладений новий маршрут. Ефективність методу наведено на рис. 2.

Таблиця 3 – Порівняльний аналіз методів

Критерій	Експертний результат	Запропонований метод	№ задачі
Довжина маршруту	2078 км	2107 км	1
Максимальна величина ризику на шляху прямування	0.0875	0.0841	1
Довжина маршруту	20100 м.	18400 м.	2
Максимальна величина ризику	0.1015	0.0872	2

В умовах міського маршруту кількість можливих розв'язків задачі побудови оптимального маршруту з урахуванням ризиків зростає за експонентою, що призводить до помилок в експертних рішеннях.

При вирішенні задачі оперативного управління, а саме зміни рішення через виникнення надзвичайної ситуації на маршруті прямування, використання експертних оцінок не є можливим через необхідність прийняття рішень в реальному часі.

У додатку наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

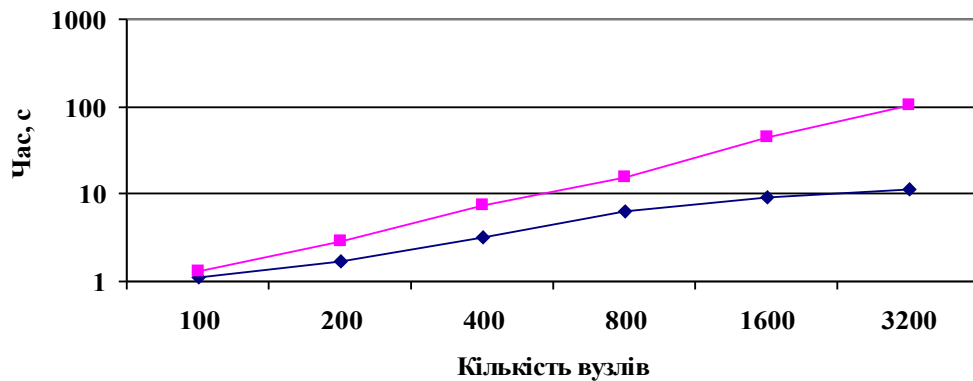


Рисунок 2 – Ефективність методу

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено результати, які відповідно до поставленої мети є вирішенням науково-технічної задачі розробки методів та моделей оптимізації переміщення вантажів підвищеної небезпеки для декількох критеріїв, що базуються на методах активно керуючих еволюційних стратегій прийняття рішень. Отримані результати мають важливе наукове та практичне значення для створення систем, спрямованих на прийняття оперативних, тактичних та стратегічних рішень.

На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі найсуттєвіші результати:

1. Встановлено, що ефективне забезпечення мінімізації ризиків у вантажоперевезеннях небезпечних вантажів потребує відповідних методів оцінки ризику при виникненні надзвичайних ситуацій; використовуючи системний аналіз, розроблено активно керуючі евристичні методи оптимізації транспортних маршрутів.

2. Вперше сформульовано та вирішено динамічну транспортну задачу мінімізації ризиків при виникненні на маршруті транспортування небезпечних вантажів надзвичайної ситуації, що призводить до зміни запланованого маршруту; при пошуку керуючих рішень враховується історія подібних надзвичайних ситуацій, оптимізація виконується за критеріями часу, матеріальних витрат, мінімальних ризиків.

3. Реалізовано метод оперативної зміни маршруту з активно керованою еволюційною стратегією зі спрямованою еволюцією у комбінації з «мурахоподібною моделлю», що дозволило скоротити час прийняття оперативних рішень.

4. Набув подальшого розвитку метод багатокритеріальної оптимізації, який забезпечує оптимізацію стратегічних рішень для управління транспортуванням небезпечних вантажів, що дозволяє прогнозувати значення ризику стосовно стратегічного управління.

5. Набув подальшого розвитку метод розрахунку ризиків виникнення надзвичайних ситуацій при транспортуванні небезпечних вантажів, який дозволяє розрахувати небезпечну швидкість руху, кількість небезпечних вантажів на дузі шляхового графа та ймовірність виникнення «каскадного» розширення надзвичайних ситуацій.

6. Розроблені моделі та методи оптимізації маршрутів транспортування небезпечних вантажів дозволяють навчити персонал прийняттю оптимальних рішень в умовах виникнення надзвичайних ситуацій на маршруті.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кузёмин А. Я. Муравьиный алгоритм и учет риска в транспортной задаче / А. Я. Кузёмин, Я. Даюб // Бионика интеллекта. – 2010. – №3 (74). – С. 144–148.

2. Даюб Я. Методы решения транспортной задачи с ограничениями по времени и риску / Я. Даюб // Радиоэлектроника и информатика. – 2010. – №3. – С. 67–71.

3. Кузёмин А.Я. Реализация модели системы поддержки принятия решений в области сервисного обслуживания банкоматов / А. Я. Кузёмин, Н.В.Головий, Я. Даюб // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Сб. науч. трудов. – Харьков, 2008. – Выпуск 145. – С. 134–139.

4. Головий Н.В. Разработка модели системы поддержки принятия решений в области сервисного обслуживания автоматов финансового самообслуживания / Н. В. Головий, Я. Даюб // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Сб. науч. трудов. – Харьков, 2009. – Выпуск 146. – С. 49–54.

5. Даюб Я. Модель оптимизации принятия решений в условиях неопределенности рисков при перевозке грузов повышенной опасности / Я. Даюб // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Сб. науч. трудов. – Харьков, 2011. – Выпуск 154. – С. 44 – 53.

6. Kuzemin O. Modeling of effective process of network maintaining based on statistic data / O. Kuzemin , N. Goloviy, Ya. Dayob // International Conference «Knowledge-Dialogue-Solution», «KDS - 2008». International Book Series, Information Science And Computing, Book 7 Artificial Intelligence and Decision Making. – Varna – Kiev, 2008. – С. 147 – 152.

7. Kuzemin O. Optimisation of route-planning under indefinite risk conditions / O. Kuzemin, C. Berechnoya, Ya. Dayob // Proc. of the Second International Conference «i.TECH-2010». “Information Technologies and Knowledge”, Vol. 4, No.:3, ITHEA, – Varna, 2010. – pp. 85–91.

АНОТАЦІЯ

Даюб Я. Методи та моделі оптимізації переміщення вантажів підвищеної небезпеки. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.04 – Системний аналіз і теорія оптимальних рішень. – Харківський національний університет радіоелектроніки, 2011р.

Дисертація присвячена розробці методів та моделей оптимізації переміщення вантажів підвищеної небезпеки. В роботі вперше виконана постановка динамічної транспортної задачі з урахуванням ризиків, що виникають в процесі виконання маршруту. Для вирішення задачі запропоновано моделі, які забезпечують ефективну зміну запланованого маршруту та оптимізацію рішення з мінімальними витратами часу та матеріальних ресурсів. Розроблені моделі дозволяють реалізувати прогнозування розвитку сценаріїв надзвичайних ситуацій та скоротити час прийняття керуючих рішень стосовно зміни маршруту.

В роботі вперше запропоновано метод оперативного пошуку керуючих рішень зі зміни маршруту, який враховує історію подібних надзвичайних ситуацій, використовує для зниження розмірності задачі, представлення ситуації у вигляді композиції мікроситуацій, та використовує керовану еволюційну стратегію зі спрямованою еволюцією у комбінації з «мурахоподібною моделлю». В роботі проведено аналіз ефективності запропонованого методу у порівнянні з використанням існуючих методів для вирішення динамічної транспортної задачі в умовах міста та міжміського сполучення.

Набув подальшого розвитку метод багатокритеріальної оптимізації маршруту, який на відміну від існуючих використовує вдалі прецедентні рішення та враховує у моделі транспортної мережі евристичні генерації нового альтернативного рішення і шляхом накладання штрафів на не ефективні фрагменти забезпечує оптимізацію стратегічних рішень для управління транспортуванням небезпечних вантажів, що дозволяє прогнозувати значення ризику стосовно стратегічного управління.

Ключові слова: логістика, перевезення небезпечних вантажів, активно керовані евристичні стратегії, оптимізація ризиків.

АННОТАЦИЯ

Даюб Я. Методы и модели оптимизации транспортировки грузов повышенной опасности. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 01.05.04 – Системный анализ и теория оптимальных решений. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 2011 р.

В результате выполнения научной работы были разработаны методы и модели оптимизации маршрутов транспортировки опасных грузов, которые позволяют снизить риски и убытки при возникновении транспортных ситуаций, и

обеспечивают повышение эффективности безопасной маршрутизации опасных грузов в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций. Целью работы является разработка методами системного анализа, эвристического и математического программирования методов оптимизации транспортной задачи, принятия оперативных, тактических и стратегических решений и обоснование методов управления и организации технологических мероприятий по обеспечению перевозки опасных грузов, направленных на снижение ущерба от возникновения чрезвычайных ситуаций на маршрутах прохождения объектов с опасными грузами.

В работе произведен анализ современных подходов к решению динамических транспортных задач с учетом риска. Учитывая NP-полную природу задачи коммивояжера, было проведено рассмотрение современных приближенных подходов к решению динамической задачи и исследование возможности расширения применяемых методик для учета и риска и расширения динамической транспортной задачи до задачи многокритериальной оптимизации с учетом рисков. Для проведения дальнейших исследований выбрано семейство эвристических подходов, как наиболее перспективного направления в решении задач многокритериальной оптимизации в условиях ограниченного времени на принятие решений

В работе предлагается модель оперативного поиска решений со сменой маршрута, которая учитывает критерий времени, материальных потерь, минимальных рисков и реализует активно управляемую эволюционную стратегию с направленной эволюцией в комбинации с «муравьиноподобной моделью», это позволило сократить время принятия оперативных решений для выбора маршрута транспортирования опасных грузов в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций. Кроме этого, был разработан метод динамической транспортной задачи, который учитывает на начальном этапе историю подобных чрезвычайных ситуаций в виде множества микроситуаций, и реализует на следующем этапе прогнозирование развития сценариев возникновения чрезвычайных ситуаций. В целях снижения размерности задачи была использована техника представления ситуации в виде набора микроситуаций, объединяющих связанные характеристики окружающей среды.

Получил дальнейшее развитие метод многокритериальной оптимизации поддержки принятия стратегических решений для управления транспортированием опасных грузов с использованием удачных прецедентных решений, который в отличие от существующих учитывает эвристические генерации нового альтернативного. Получил дальнейшее развитие метод расчетов рисков возникновения чрезвычайных ситуаций при транспортировании опасных грузов, который в отличие от существующих на первом этапе учитывает обобщенные данные по грузопотокам, на следующем – конфигурацию транспортной сети, геоинформационную привязку, далее – сценарии известных чрезвычайных ситуаций, что позволяет рассчитать допустимую скорость

движения опасных грузов, их количество на дуге графа и вероятность возникновения «каскадного» распространения чрезвычайных ситуаций.

Практическая ценность разработанных моделей и методов состоит в значительном ускорении принятия оптимальных решений по снижению рисков чрезвычайных ситуаций в случае их возникновения, разработка эффективных методик.

Использование разработанных моделей и методов активно управляемых эвристических стратегий позволяет значительно ускорить разработку оптимальных по нескольким критериям маршрутов, уменьшить затраты на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций, организовать эффективное тестирование и обучение персонала эффективному управлению транспортировкой опасных грузов.

Ключевые слова: логистика, перевозка опасных грузов, активно управляемые эвристические стратегии, оптимизация рисков

ABSTRACT

Dayoub Ya. Methods and models for optimization of transferring dangerous cargo – Monograph.

The thesis is presented for the obtaining of scientific degree of a candidate of technical science according to the specialization 01.05.04 – system analysis and theory of optimal decisions, Kharkiv, 2011.

The thesis is dedicated to development of methods and models of optimization transportation of high-risk cargos. In the thesis a statement of dynamic transportation problem with risk is made first time. For solving this problem a subset of models are proposed, which provide effective changes to calculated route and optimization of solution with minimal losses and material resources. Developed models allow to forecast emergency appearing on the route and decrease time of control decisions due to route changes.

In the thesis introduced method of operational search of control decisions on route change, which takes into account history of similar emergency situations. In order to reduce task complexity a methodology of representing situation as a combination of microsituations is used. An ant-based approach mixed with guided-evolution strategy is used to provide solutions to the major problem. In the thesis we've made an analysis of effectiveness of proposed method compared to existing methods of solving dynamic transporting problem.

In the thesis the method of multi-criteria route optimization was expanded with possibility of reuse of effective previous decisions together with heuristic generations of new alternate solutions by modifying weights of bad fragments of transport network in the current solution

Keywords: logistics, dangerous cargo transporting, risks optimization, actively guided heuristic strategies

Підп. до друку 29.11.11 Формат 60x84/16. Спосіб друку – ризографія
Умов. друк. арк. 1,2. Тираж 100 прим.
Зам. № 2-966. Ціна договірна

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
Харків, просп. Леніна 14