

УДК 355.46

**Помазков М. В.**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автомобільного транспорту  
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»  
Дніпро, Україна  
**E-mail:** potazkovmik1@gmail.com  
**ORCID:** 0009-0008-8787-2907

**Мнацаканян М. С.**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій,  
Маріупольський державний університет  
Київ, Україна  
**E-mail:** m.s.mnatsakanian@gmail.com  
**ORCID:** 0000-0002-1829-2334

**Маник І. С.**

магістр кафедри автомобільного транспорту  
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»  
Дніпро, Україна  
**E-mail:** manikirina0306@gmail.com  
**ORCID:** 0009-0003-9233-3311

## МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ГУМАНІТАРНИХ ВАНТАЖІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

### Анотація

Стаття аналізує найбільшу гуманітарну кризу в Європі після Другої світової війни, що виникла внаслідок розпочатої повномасштабної військової агресії на території України у лютому 2022 року. Підвищення рівня конфлікту призвело до суттєвого збільшення гуманітарної допомоги, проте постачання та розподіл стикаються з труднощами через руйнування транспортної та комунікаційної інфраструктури. Стаття пропонує використання системи ArcGIS для розробки програмного продукту, який у реальному часі буде прокладати оптимальний та безпечний маршрут доставки гуманітарного вантажу, уникати ризиків та зменшувати втручання людського фактору. Застосування географічних даних з різних джерел, таких як GPS, аерокосмічні та супутникові зображення, а також інформація від місцевих веб-сайтів, дозволить створити карту статусу ситуації та забезпечити ефективне управління гуманітарною допомогою. Також розглядає використання методу аналізу ієрархії для визначення критеріїв оптимізації та вибору оптимального маршруту. Цей підхід враховує часткові критерії, такі як довжина маршруту, час у дорозі, марка автомобіля та інші, для визначення нових маршрутів в умовах воєнного конфлікту. Наведені рекомендації та методи дозволяють створити інноваційний інструмент для ефективного управління гуманітарною допомогою в умовах військового конфлікту, забезпечуючи безпеку та ефективність доставки на території України. Розробка такого інструменту не лише полегшить постачання гуманітарної допомоги, але й допоможе у запобіганні загрозам для працівників та отримувачів допомоги, сприяючи забезпеченню необхідних ресурсів в умовах надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** гуманітарний вантаж, геоінформаційні системи, нечітка логіка, ситуаційна транспортна мережа.

**Вступ.** Забезпечення ефективного та координаційного механізму надання гуманітарної допомоги під час воєнного конфлікту в Україні має низку проблем, зокрема одним з найбільш проблемних аспектів функціонування механізму забезпечення гуманітарною допомогою постраждалого населення України в умовах військового часу є її доставка та розподіл на відрізку «останньої милі».

При доставці гуманітарного вантажу на відрізку останньої милі слід враховувати такі аспекти, як руйнування існуючої транспортної інфраструктури та інфраструктури зв'язку, відсутня підготовка кваліфікованих працівників та необхідність забезпечення безпеки гуманітарних місій [12]. Гуманітарні місії часто стають об'єктом обстрілів, які загрожують життям працівників гуманітарних місій та тих, кому надається допомога. Обстріли можуть призвести до припинення або обмеження безперешкодного доступу до гуманітарної допомоги, що ще більше загострює вже складну ситуацію потребуючого населення. Зважаючи на небезпеку доволі поширеною стає ситуація, коли процес вивантаження гуманітарної допомоги на складі одержувача та її подальший розподіл потребуючим намагаються пришвидшити для того, щоб зменшити тривалість перебування працівників місії

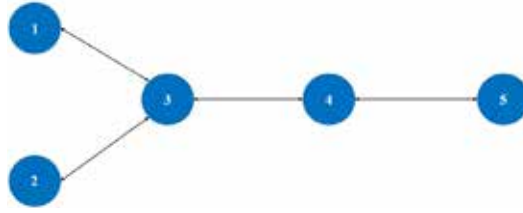


Рис. 1. Схема доставки – визначення опорного плану

та місцевих мешканців в небезпечних умовах [13]. Однак саме через поспішність цього процесу можуть виникати ситуації, що унеможливають коректність обліку за розподілом гуманітарної допомоги та підсилюють її нецільове використання, розкрадання та перепродаж. Так, як правило, планування гуманітарних місій потребує цілісного підходу та виконання низки кроків для забезпечення безпеки під час доставки гуманітарної допомоги в зони конфлікту, серед яких необхідність аналізу конкретних ризиків та потенційних загроз для визначення засобів для їх уникнення та зменшення. Багато авторів, науковців, журналістів та представників гуманітарних організацій висвітлюють проблеми та виклики перевезень гуманітарних вантажів у своїх публікаціях і дослідженнях. Представники таких організацій, як Міжнародний комітет Червоного Хреста, ЮНІСЕФ, Лікарі без кордонів та інші, публікують звіти і дослідження щодо своєї діяльності в сфері гуманітарних перевезень. Серед них найбільш цікаві роботи [8–10, 12, 14]. Однак попередні дослідження здебільшого містять лише інформацію про статистичні дані щодо перевезень (кількість перевезень за звітний період, тип гуманітарного вантажу, обсяги та маршрути доставки), або описують поточну ситуацію у сфері гуманітарних перевезень, уникаючи надання суттєвих пропозицій щодо пошуку шляхів вирішення труднощів, що були наведені. Отже, після розгляду проблем та ризиків, з якими стикають гуманітарні місії при доставці гуманітарного вантажу на відрізьку останньої милі, є потреба у дослідженні наявних дієвих інструментів для покращення ефективності, координації та безпеки гуманітарних перевезень, що включають нові стратегії та методи.

**Мета роботи.** Розробка концепції програмного продукту, функціональні можливості якого дозволять прокладати оптимальний та безпечний маршрут доставки гуманітарного вантажу між заданими точками та корегувати його напрям в залежності від впливу «непередбачуваної ситуації» в режимі реального часу з мінімальним задіянням втручання людського фактору.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вирішується задача оперативного управління раціональною доставкою гуманітарних вантажів в умовах військового часу на основі наступного опорного плану: доставка відбувається від складу у місті Дюссельдорф (1) та складу у місті Рим (2) до складу у м. Чернівці (Україна) (3), складу у м. Харків (4) та пункту видачі гуманітарної допомоги (5). Транспортна мережа доставки подана у вигляді графа (рис. 1), де: 1 – склад у місті Дюссельдорф (Німеччина) 2 – склад у місті Рим (Італія); 3 – склад у місті Чернівці (Україна); 4 – склад у місті Харків (Україна); 5 – пункт видачі гуманітарної допомоги у місті Ізюм Харківської області.

Припускається ситуація, що доставка вантажу від вузлів 1 та 2 до вузлів 3 та 4 була виконана якісно та своєчасно без виникнення будь-яких перешкод, однак перед відправленням транспортного засобу з гуманітарним вантажем з вузла 4 у напрямку вузла 5 наявне виникнення «непередбачуваної ситуації» на попередньо запланованому маршруті – м. Харків – м. Чугуїв – м. Ізюм, який завчасно був обраний спеціалістом як найбільш оптимальний у цьому напрямку. Під непередбачуваною ситуацією можна розуміти загрозу артилерійського обстрілу, загрозу ракетної небезпеки, руйнування інфраструктури внаслідок обстрілу, контрнаступ ворожих військ тощо. Приймемо до уваги розгляд загрози артобстрілу та ракетної небезпеки як непередбачуваної ситуації на заданому напрямку. Слід врахувати, що виникненню цієї загрози притаманні такі характеристики, як раптовість та перманентність у зміні стану та радіусу впливу під час її дії, що призводить до утворення нечіткої ситуаційної транспортної мережі напрямку слідування, яка функціонує в умовах суцільної невизначеності. Це вимагає постійного моніторингу ситуації [11], що складається на маршруті слідування, швидкої оцінки обставин, що виникли під час руху транспортного засобу за маршрутом, здійснення оперативних керуючих рішень щодо коригування опорного плану при необхідності, побудови можливих (альтернативних) маршрутів в заданому напрямку та вибору нового оптимального маршруту слідування (рис. 2).

Вирішення поставленої задачі можливе при застосуванні концепції «ситуаційного вибору маршруту на основі нечіткої ситуаційної транспортної мережі» [1].

При виникненні «непередбачуваної ситуації» в вузлі  $W_j$  – подальший маршрут визначається наступним чином (рис. 3): визначається множина альтернативних (можливих) маршрутів доставки  $\mu(j) = S_{NET} = \{S_{NET1}, S_{NET2}, \dots, S_{NETn}, \dots, S_{NETm}\}$ . Кожен маршрут характеризується параметрами (критеріями), –  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$  (наприклад, пропускна здатність, відстань, час доставки, безпека).

Ситуаційний шаг управління представлений формулою:

$$S_{NET} : S_j \xrightarrow{U_k} S_l$$

де  $S_{NET}$  – виконання опорного плану  $S_{NET}$ ;  $S_j$  – поточна ситуація (вузол  $W_j$ );  $S_l$  – нова ситуація (вузол  $W_l$  коригування опорного плану); вибір маршруту в «непередбачуваній ситуації» (вибір моделі доставки) (див. рис. 3).



Рис. 2. Загальна схема транспортної мережі на напрямку м. Харків – м. Ізюм

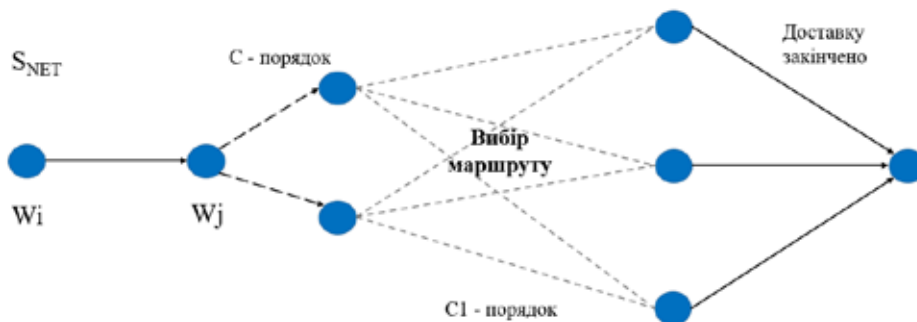


Рис. 3. Оперативне управління доставкою вантажів при застосуванні концепції ситуаційного вибору маршруту

Для непередбачуваних ситуацій потрібно не лише ідентифікувати саму ситуацію та набір керуючих рішень, які їй відповідають, але й визначити раціональні шляхи досягнення цілей планування та оперативного управління вибором маршруту доставки. Для цього необхідно прогнозувати можливі наслідки керуючих рішень на кілька кроків вперед [5]. Завдання оперативного управління вибором маршруту доставки потребує залучення додаткових методів, серед яких добре зарекомендували себе методи, що ґрунтуються на представленні сукупності типових станів системи у вигляді вузлів графа, переходи якого відповідають керуючим рішенням. Ситуаційну мережу  $S_{NET}$  подано у вигляді орієнтованого графа  $S_{NET}=(W, A)$ , де  $W$  – множина вузлів – станів, а  $A$  – множина дуг-переходів між станами.

$$S_{NET} = (W, A);$$

$$W = \{w_i | i = 1, \dots, N_w\};$$

$$A = \{a_{i,j} | i = 1, \dots, N_w; j = 1, \dots, N_w\}.$$

Метод виведення за допомогою нечіткої ситуаційної мережі ґрунтується на визначенні зв'язаного підграфа, що містить певний початковий стан мережі  $w'$ , щодо якого ведеться пошук.

$$S'_{NET} = (W', A');$$

$$W' \subset W, w' \in W';$$

$$A' = \{a_{i,j} | w_i, w_j \in W'\}.$$

Отже, необхідним є створення імітаційної моделі для прийняття оперативних рішень у разі виникнення "непередбачуваної ситуації" на маршруті у вузлі  $W_j$ , коригування опорного плану та вибору нового маршруту доставки у напрямку м. Харків – м. Ізюм, що є можливим за допомогою розробки програмного продукту, який поєднує у собі інтегрований набір програмних продуктів ArcGIS та інструменти, що ідентифікують виникнення «непередбачуваної ситуації» та відслідковують місцезнаходження транспортного засобу (ТЗ) в режимі реального

часу (карта загроз артобстрілів та ракетних небезпек, GPS-дані), задіяні для виконання перелічених задач з мінімізацією втручання людського фактору [7].

Задіяння програмного компоненту ArcGIS у функціонуванні запропонованого програмного продукту необхідне для створення інтерактивної карти автомобільних доріг Харківської області - ArcMap, яка є основою для визначення та відображення можливих (альтернативних) маршрутів, вводу і компіляції географічної інформації, що дозволить ідентифікувати виникнення «непередбачуваної ситуації» в режимі реального часу, та проведення мережевого аналізу з метою визначення нового оптимального маршруту.

Інтерактивна карта ArcGIS представляє собою набір мережевих даних що відображає, поєднує та синтезує значні шари географічної та описової інформації з різних джерел, який створюється в інструменті ArcCatalog за допомогою модулю ArcGIS Network Analyst. Система ArcGIS має певний набір базових карт (топографія, зображення вулиць, гідрологія тощо), після вибору якої є можливим створення необхідної карти шляхом додавання шарів робочих даних. Для створення шару робочих даних попередньо необхідно провести збір географічних даних про автомобільні дороги Харківської області (можливе вказання напрямку руху, обмежень швидкості, типу дороги тощо) з офіційних карт, даних від урядових установ, GPS-даних тощо, обробити та конвертувати їх у формат, який підтримується системою ArcGIS. Підготовлені дані імпортуються з персонального комп'ютера до системи за допомогою меню «Add Data» для подальшого відображення в новому робочому шарі. Після додавання даних до шару налаштовуються атрибути доріг (швидкість руху, тип дороги тощо) та параметри мережі, необхідні для подальшої застосування та роботи (тип дозволеного руху, обмеження швидкості тощо), встановлюються зв'язки між сегментами доріг та перевіряється маршрутизація між точками, додаються необхідні елементи мережі (назви місцевостей, тощо), або навіть додаткові шари (наприклад, бензозаправні станції, які знаходяться поблизу автомобільних доріг), редагується і стилізується стиль відображення. Розроблений набір мережевих даних імпортується в ArcMap, що робить карту остаточно готовою для подальшого використання в запропонованому програмному продукті. Усі отримані дані система ArcGIS зберігає в базі географічних даних системи.

Ідентифікація виникнення непередбачуваної ситуації, що представляє собою стан постійної зміни інформації, системою ArcGIS можлива за допомогою створення карти статусу ситуації з панеллю реального часу шляхом застосування компіляції та синтезації географічних даних, що змінюються в режимі реального часу, з декількох джерел в один зв'язаний географічний вид. До таких джерел даних відносяться географічні бази даних, файли, електронні таблиці, фотографії та відео з географічними мітками, дані реального часу з датчиків, аерокосмічні та супутникові зображення, GPS координати, веб-сайти тощо. Для створення такої карти для подальшого застосування в запропонованому програмному продукті необхідно на ключові робочі шари створеної карти автомобільних доріг Харківської області накласти додатковий шар з бази даних зі змінами у реальному часі, інформація про які надходить з веб-сайту <https://map.ukrainealarm.com/> (офіційна карта повітряних тривог України). Таким чином, система ArcGIS постійно буде отримувати оперативну та оновлену картину про поточний стан повітряних тривог на території України, конвертувати отримані дані в форму, що підходить для роботи в обраній процедурі, та прорисовувати їх на карті.

За аналогічним алгоритмом створюється робочий шар, який в режимі реального часу дозволяє відслідковувати місцезнаходження транспортного засобу та відображати його на карті.

Після того, як розроблено цей компонент запропонованого програмного продукту, необхідний для визначення можливих (альтернативних) маршрутів та збору актуальних даних про виникнення непередбачуваної ситуації, необхідно перейти до вирішення задачі коригування опорного плану та вибору нового оптимального маршруту. Реалізація цієї функції так само буде відбуватися за допомогою системи ArcGIS, а саме шляхом додавання нового робочого шару мережевого аналізу до попередньо створеної карти. Вибір оптимального маршруту системою ArcGIS відбувається за допомогою інструменту маршрутизації Network Analyst та функції «New Route» (Новий маршрут) на основі критеріїв оптимізації, визначення яких відбувається за допомогою багатокритерійного вибору на основі методу аналізу ієрархій.

Метод аналізу ієрархій передбачає математичну обробку експертних оцінок на основі матричних обчислень та адитивної згортки критеріїв. У методі аналізу ієрархій ієрархія є основним способом подання структури прийняття рішень. Основне призначення ієрархії полягає в структуруванні складної проблеми для кількісної оцінки варіантів. Наприклад, для ієрархії на рисунку 4 визначаються пріоритети альтернатив нижчого рівня (можливі нові маршрути) за кожним критерієм другого рівня (часткові критерії: довжина, час у дорозі, марка автомобіля, стан дороги, час доби), які в свою чергу використовуються для синтезу пріоритетів альтернатив за головним критерієм (новий маршрут). Першим етапом у вирішенні задач прийняття рішень є декомпозиція проблеми шляхом визначення її компонентів та відносин між ними, тобто побудова ієрархії задачі прийняття рішень. Загальні рекомендації можуть бути такими: основні цілі встановлюються у вершині ієрархії, підцілі – безпосередньо нижче, сили, що впливають на підцілі – ще нижче. На самому нижчому рівні ієрархії слід розміщувати можливі результати (альтернативи, сценарії і т.д.).

Після визначення критеріїв оптимізації необхідно обрати відповідну модель прийняття рішень, за допомогою якого буде відбуватися вибір оптимального маршруту з урахуванням зазначених критеріїв інструментом



Рис. 4. Вибір нового маршруту методом аналізу ієрархій

маршрутизації Network Analyst. Можна виділити декілька задач прийняття рішень на основі нечітких множин, які є зручним інструментом для формалізації експертної інформації: модель моделі максимінної згортки, модель абсолютного рішення, модель основного параметра, модель компромісного параметра, модель еталонного порівняння.

Однак, кожна модель має свої переваги та недоліки, що заважає однозначно визначитися, який саме алгоритм застосовувати в запропонованому програмному продукті. Для вирішення цього питання необхідно розробити окремі ситуаційні моделі визначення оптимального маршруту із застосуванням кожної моделі за допомогою програмного забезпечення для моделювання систем Simul8.

Програмне забезпечення Simul8 використовується для створення імітаційних моделей та систем з метою візуалізації та аналізу їх функціонування експериментальним шляхом на основі встановлення необхідних параметрів, вводу різноманітних умов та сценаріїв.

Так, у редакторі Simul8 необхідно створити модель, тобто мережу логістичних шляхів та транспортних зв'язків, яка представляє собою можливі маршрути та варіанти переміщення з визначенням всіх потрібних ресурсів, точок маршрутів, параметрів обробки та будь-яких інших факторів, що впливають на вибір оптимального маршруту. Наступним кроком визначаються критерії оптимальності, які будуть використовуватися для вибору маршруту – час, відстань, безпека та пропускна здатність, після чого розробляється логіка прийняття рішень, тобто по черзі обираються та відтворюються розглянуті моделі прийняття рішень за допомогою блоків та скриптів програмування на основі визначених критеріїв, та запускається симуляція – тестування роботи мережі за заданим алгоритмом. Надалі аналізуються отримані результати функціонування мережі при кожній окремій моделі, проводиться оцінка того, чи задовольняє маршрут визначені критерії оптимальності, на основі чого обирається найкраща модель, яка буде застосовуватися у роботі запропонованого програмного продукту та додатково перевіряється на стабільність та оптимальність в різних умовах.

Отже, після визначення найкращої моделі як логіки прийняття рішення з вибору оптимального маршруту слідування розробляється компонент запропонованого програмного продукту, за допомогою якого буде здійснюватися вибір оптимального маршруту. В системі ArcGIS в робочому шарі мережевого аналізу, який створено за допомогою додаткового модулю Network Analyst та функції «New Route» (Новий маршрут), додаються точки, між якими потрібно знайти оптимальний маршрут. Точкою початку руху визначається GPS координата, у якій в реальному часі знаходиться транспортний засіб, а точкою призначення – місто Ізюм. Додатково задається такий клас мережевого аналізу як точкові бар'єри (Point Barriers) – це ті точки або області на карті, на які розповсюджується вплив повітряної тривоги, і які при прокладанні маршруту програмний засіб буде уникати (далі – бар'єр). Надалі програмуються параметри для аналізу, а саме визначені критерії оптимальності та обрана за допомогою програмного забезпечення Simul8 модель прийняття рішення, враховуються бар'єри. Після встановлення усіх параметрів запускається сам аналіз і система визначає новий оптимальний маршрут від м. Харків до м. Ізюм та відображає його на карті.

Отже, при поєднанні всіх зазначених компонентів розробляється програмний продукт, який комплексно дозволяє вирішити поставлені задачі. Детальний алгоритм роботи запропонованого програмного продукту в режимі реального часу представлено на рисунку 5.

Слід зазначити, що функціонування запропонованого програмного продукту було розглянуто на прикладі відокремленого напрямку – м. Харків – м. Ізюм. Однак, запропонований алгоритм роботи дозволяє маршрутизувати весь зазначений опорний план. Для цього необхідно зібрати дані та створити такий набір мережевих даних, як карту автомобільних доріг європейського континенту, а можливість додавання необмеженої кількості робочих шарів дозволяє додати до карти такі дані як затори, аварійні ситуації, обмеження руху та ремонтні роботи на дорогах для того, щоб ідентифікувати ці дані як «непередбачувану ситуацію» і в подальшому приймати їх до розгляду в якості основних бар'єрів, через які виникає необхідність корегування наявного маршруту, під час руху країнами Європи, та додаткових бар'єрів під час переміщення територією України.

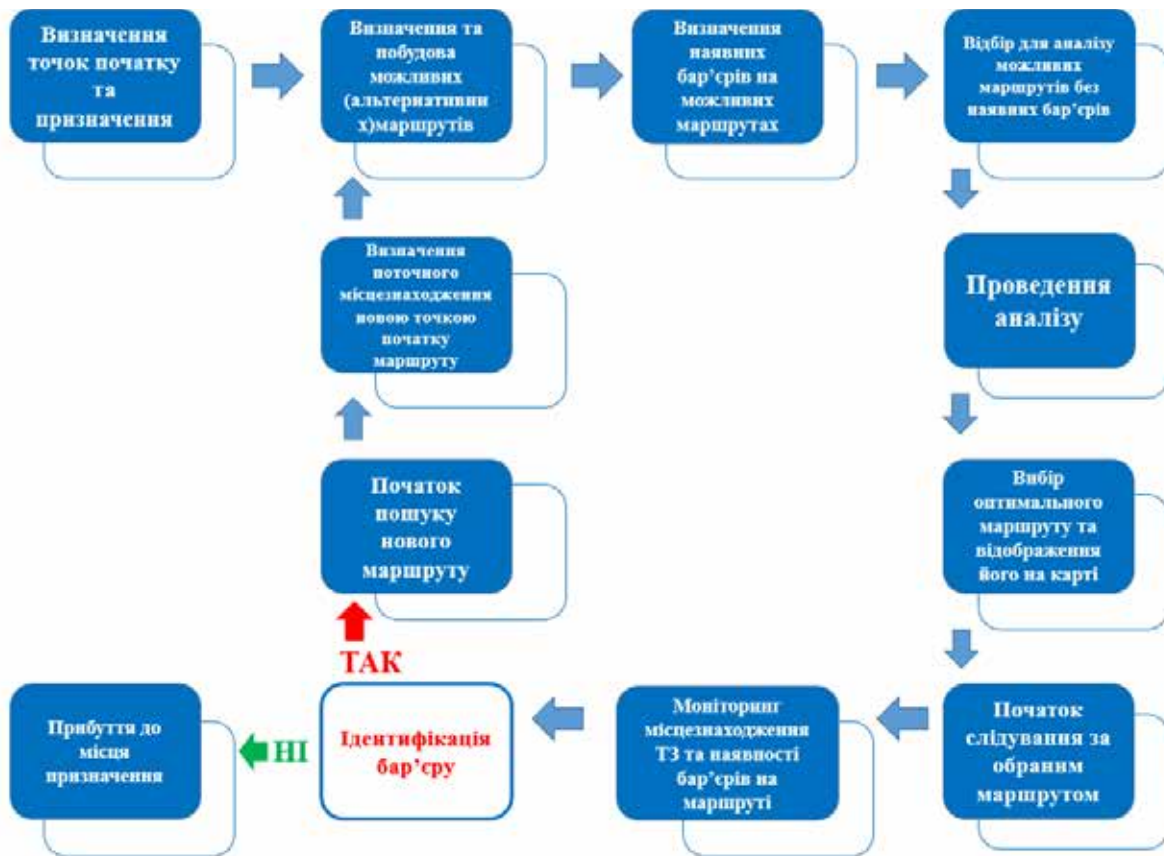


Рис. 5. Алгоритм роботи запропонованого програмного продукту

**Висновки.** Розроблена концепція програмного продукту представляє собою інноваційний підхід до вирішення важливої проблеми доставки гуманітарних вантажів у зону конфлікту. Одним із найкритичніших аспектів цієї задачі є забезпечення безпеки гуманітарних місій, зокрема мінімізація ризику під час доставки вантажів під ворожі обстріли.

В рамках розробленої концепції визначено функціональні можливості програмного продукту, які дозволяють ефективно реалізувати вищезазначений аспект. Детально розглянуті компоненти окремих програмних забезпечень та їх функціональні складові, які, взаємодіючи, створюють надійну основу досліджуваного програмного продукту.

Однією з ключових особливостей є можливість маршрутизації всього опорного плану за допомогою розробленого програмного продукту. Це дозволяє оптимізувати маршрути доставки, враховуючи різні аспекти безпеки та шляхи, які мінімізують ймовірність потрапляння під ворожі обстріли.

Для досягнення цієї мети використовується концепція ситуаційного вибору маршруту на основі нечіткої ситуаційної транспортної мережі. Цей підхід є важливою складовою логічного аспекту функціонування розробленого програмного продукту, надаючи йому гнучкість та адаптивність до змінних ситуацій на маршруті доставки гуманітарних вантажів.

Отже, представлена концепція не лише вирішує практичні проблеми безпеки гуманітарних місій, але і впроваджує інноваційні підходи до оптимізації логістики та маршрутизації у сфері гуманітарних перевезень.

#### Список використаних джерел

1. Гвоздинський А. М. Дослідження інтелектуальних методів розв'язання оптимізаційних задач транспортного типу / А. М. Гвоздинський, М. Б. Обізна. *Радіоелектроніка та інформатика*. 2013. № 4. С. 35–39.
2. Задоров В. Б. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації до планування вантажних перевезень / В. Б. Задоров, О. В. Федусенко, А. О. Федусенко. *Управління розвитком складних систем*. 2010. № 2. С. 27–31.
3. Петренко О. Я. Географічний та просторовий аналіз даних засобами ArcGIS: Навчальний посібник. К: ПІДО НУХТ, 2017. 96 с.
4. Петренко О. Я. Побудова електронної карти засобами ArcGIS: Навчальний посібник. К: ПІДО НУХТ, 2015. 96 с.
5. Петренко О. Я. Управління географічними даними засобами ArcGIS: Навчальний посібник. К: ПІДО НУХТ, 2016. 70 с.
6. Томашевський В. М. Моделювання систем: Підручник. К: Видавнича група ВНУ, 2005. 325 с.
7. Федоренко І. Імітаційне моделювання логістичних процесів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2016. 8(185): 38–44.
8. Altay N. Challenges in humanitarian information management and exchange: evidence from Haiti / N. Altay, M. Labonte. *Disasters*. 2014. № 38, pp. 50–72.

9. Balcik B. Last mile distribution in humanitarian relief / B. Balcik, B. M. Beamon, K. J. Smilowitz. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 328. 2008. № 12. P. 51–63
10. Beresford A. Humanitarian aid logistics: a Cardiff University research perspective on cases, structures and prospects / A. Beresford, S. Pettit. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. 2021. № 11. pp. 623–638.
11. Giaglis G. M. Minimizing logistics risk through real-time vehicle routing and mobile technologies : Research to date and future trends / G. M. Giaglis, I. Minis, A. Tatarakis, V. Zeimpekis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2004. Vol. № 34. P. 749–764.
12. Malhouni Y. Mitigating risks and overcoming logistics challenges in humanitarian deployment to conflict zones: evidence from the DRC and CAR / Y. Malhouni, C. C. Mabrouki. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. 2023.
13. Ozdamar L. Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics / L. Ozdamar, M. A. Ertem. *European Journal of Operational Research*. 2015. № 244 (2015). P. 55–65
14. Stapleton O. Last mile vehicle supply chain in the International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies / O. Stapleton, A. Pedraza-Martinez, L. N. Van Wassenhove. *SSRN Electronic Journal*. 2009. № 7. p. 29–48.
15. Szucs G. Decision support for route search and optimum finding in transport networks under uncertainty. *Journal of Applied Research and Technology*. 2015. Vol. № 13. P. 125–134.7.

**Pomazkov M. V.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Senior Lecturer at the Department of Automobile Transport  
Azov State Technical University  
Dnipro, Ukraine  
E-mail: pomazkovmik1@gmail.com  
ORCID: 0009-0008-8787-2907*

**Mnatsakanian M. S.**

*Candidate of Technical Sciences,  
Senior Lecturer at the Department of Systems Analysis and Information Technologies  
Mariupol State University  
Kyiv, Ukraine  
E-mail: m.s.mnatsakanian@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-1829-2334*

**Manyk I. S.**

*Master of the Department of Automobile Transport  
Azov State Technical University  
Dnipro, Ukraine  
E-mail: manikirina0306@gmail.com  
ORCID: 0009-0003-9233-3311*

## **MODELING OF INTELLIGENT ROUTES OF HUMANITARIAN CARGO TRANSPORTATION IN WARTIME CONDITIONS**

**Abstract**

*The article analyzes the largest humanitarian crisis in Europe since World War II, stemming from the full-scale military aggression initiated on the territory of Ukraine in February 2022. The escalation of the conflict has led to a significant increase in humanitarian aid; however, its delivery and distribution face challenges due to the destruction of transportation and communication infrastructure. The article proposes the use of the ArcGIS system to develop a software product that, in real-time, will chart an optimal and secure route for delivering humanitarian cargo, avoiding risks, and reducing human intervention. Utilizing geographical data from various sources, such as GPS, aerospace, and satellite imagery, along with information from local websites, will enable the creation of a status map and ensure efficient management of humanitarian aid. The article also explores the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to determine optimization criteria and select the optimal route. This approach considers partial criteria, including route length, travel time, vehicle type, and others, to identify new routes in the conditions of a military conflict. The provided recommendations and methods facilitate the creation of an innovative tool for effective humanitarian aid management in the context of armed conflict, ensuring safety and delivery efficiency in Ukraine. The development of such a tool not only streamlines the delivery of humanitarian assistance but also helps mitigate threats to the safety of workers and aid recipients, contributing to the provision of necessary resources in emergency situations.*

**Key words:** humanitarian cargo, geographic information systems, fuzzy logic, situational transport network.

#### References

1. Hvozdytskyi, A.M., & Obizna, M.B. (2013). Doslidzhennia intelektualnykh metodiv rozv'iazannia optymizatsiinykh zadach transportnoho typu [Research of Intelligent Methods for Solving Optimization Problems of Transportation Type *Radioelektronika ta informatyka*. Vol. 4. P. 35–39 [in Ukrainian]
2. Zadorov, V.B., Fedusenko, O.V., Fedusenko, O.A. (2010). Zastosuvannia metodiv bahatokryterialnoi optymizatsii do planuvannia vantazhnykh perevezen [Application of Multi-Criteria Optimization Methods for Cargo Transport Planning]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*. Vol. 2. P. 27–31 [in Ukrainian]
3. Petrenko, O.Y. (2015). Heohrafichni ta prostorovi analiz danykh zasobamy ArcGIS [Building an Electronic Map Using ArcGIS]. K: IPDO NUHT, 96 p. [in Ukrainian]
4. Petrenko, O.Y. (2017). Pobudova elektronnoi karty zasobamy ArcGIS [Geographic and Spatial Data Analysis Using ArcGIS]. K: IPDO. 96 p. [in Ukrainian]
5. Petrenko, O.Y. (2016). Upravlinnia heohrafichnyimi danymi zasobamy ArcGIS [Managing Geographic Data Using ArcGIS]. K: IPDO NUHT. 70 p. [in Ukrainian]
6. Tomashivskiy, V.M. (2005). Modeliuvannia system [Modeling Systems]. K: Publishing Group BHV. 325 p. [in Ukrainian]
7. Fedorenko, I. (2016). Imitatsiine modeliuvannia lohistychnykh protsesiv [Simulation Modeling of Logistic Processes]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, 8(185), 38 [in Ukrainian]
8. Altay, N. (2014). Challenges in humanitarian information management and exchange: evidence from Haiti / N.Altay, M. Labonte. *Disasters*. 2014. № 38, pp. 50–72 [in English]
9. Balcik, B. (2008). Last mile distribution in humanitarian relief / B. Balcik, B. M. Beamon, K. J. Smilowitz. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 12. P. 51–63 [in English]
10. Beresford, A., & Pettit, S. (2021). Humanitarian aid logistics: a Cardiff University research perspective on cases, structures and prospect. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. 11. pp. 623–638 [in English]
11. Giaglis, G.M., Minis, I., Tatarakis, A., & Zeimpekis, V. (2004). Minimizing logistics risk through real-time vehicle routing and mobile technologies : Research to date and future trends. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol. № 34. P. 749–764 [in English]
12. Malhouni, Y., & Mabrouki, C. (2023). Mitigating risks and overcoming logistics challenges in humanitarian deployment to conflict zones: evidence from the DRC and CAR. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* [in English]
13. Ozdamar, L., & Ertem, M.A. (2015). Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*. 244 (2015). P. 55–65 [in English]
14. Stapleton, O., Pedraza-Martinez, A., & Van Wassenhove, L.N. (2009). Last mile vehicle supply chain in the International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. *SSRN Electronic Journal*. 7. p. 29–48 [in English]
15. Szucs, G. (2015). Decision support for route search and optimum finding in transport networks under uncertainty. *Journal of Applied Research and Technology*. Vol. № 13. P. 125–134.7 [in English]