НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГОРПЕНКО ДАНИЛО РУСЛАНОВИЧ

УДК 004.7:519.8

ДИСЕРТАЦІЯ

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ВОЛОНТЕРАМИ В ОПЕРАТИВНИХ ЗАВДАННЯХ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ

Спеціальність: 122 – Комп’ютерні науки
Галузь знань: Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів та текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Д. Р. Горпенко
Науковий керівник: Болтьонков Віктор Олексійович
кандидат технічних наук, доцент

Одеса – 2023

АНОТАЦІЯ

Горпенко Д. Р. Моделі та методи прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Національний університет «Одеська політехніка», МОН України, Одеса, 2023.

У вступі обґрунтовано актуальність підтримки прийняття рішень волонтерами під час розв’язання оперативних завдань транспортної логістики. Характерною особливістю таких завдань в умовах воєнного стану є висока динаміка зміни ситуації. Основними вимогами при прийнятті рішень в такій ситуації є їх оперативність та достовірність. Підвищення оперативності та достовірності прийняття рішень волонтерами в подібних завданнях транспортної логістики можна досягти шляхом розробки моделей та методів прийняття рішень для команди волонтерів, які дозволяють враховувати інформацію щодо поточного стану ситуації, яка динамічно змінюється. Визначено об'єкт, предмет, задачі та методи дослідження; наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; висвітлено особистий внесок здобувача. Наведено інформацію про апробацію роботи та її структуру, а також про публікації автора за темою дисертації.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз моделей і методів вирішення завдань транспортної логістики, які здійснюють волонтери, та їх особливості в умовах обстановки, що динамічно змінюється (нестійка ситуація). Головною задачею волонтерів є вибір найкращого маршруту для доставки ресурсів в потрібні пункти. При цьому важливо не тільки мінімізувати витрати та час транспортної операції, але й забезпечити безпеку ресурсу і команди.

Аналіз літературних джерел показав, що задоволення вимог оперативності та достовірності при прийнятті рішень в умовах нестійкої ситуації залежить від наступного:

по-перше, від оперативності, інформативності, своєчасності та повноти інформації, яка, як правило, описується змішаним типом даних (кількісним, якісним, релейним) щодо стану умов транспортування як на всьому маршруті, так і на окремих його ділянках. Це потребує розробки нових підходів до отримання інформації;

по-друге, оскільки завдання транспортної логістики, які здійснюють волонтери в умовах нестійкої ситуації, є багатокритеріальними, то при прийнятті рішень необхідно застосовувати методи багатокритеріального експертного оцінювання.

Проаналізовано відомі багатокритеріальні методи експертного оцінювання. Показано, що найкращими методами експертного оцінювання альтернативних рішень при наявності інформації змішаного типу є методи SMART та AHP, проаналізовані їх переваги та недоліки. Незважаючи на те, що метод AHP є прийнятим еталоном багатокритеріального експертного оцінювання, в роботі в якості базового був обраний метод SMART, перевагою якого є мінімальні часові витрати особи, що приймає рішення. Однак оскільки йому притаманний суттєвий недолік – неврахування різних напрямів оптимізації критеріїв при наявності інформації змішаного типу, запропоновані шляхи його удосконалення.

За результатами проведеного аналізу визначено мету та завдання досліджень.

У другому розділі розроблено концептуальну модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації (рис. 1) для доставки ресурсів з пункту R_0 в пункт потреби у цьому ресурсі R_E, яка враховує особливості отримання актуальної оцінки станів умов транспортування, що динамічно змінюються внаслідок надзвичайних

ситуацій та враховує обмеженість людських ресурсів команди волонтерів і непрофесійність її учасників.

Особою, яка приймає рішення (ОПР) щодо вибору найкращого маршруту, є координатор команди волонтерів (VTM_{MAIN}). Для знаходження розв'язку проблеми ОПР вирішує наступні завдання: визначення цілі, формування множини можливих маршрутів $A=\{A_i\}$ $(i=\overline{1,m})$, умов проведення операції; отримання оцінок щодо поточного стану певних маршрутів C_i від волонтерів; прийняття рішення; видача рішення команді волонтерів та здійснення контролю щодо виконання завдання транспортної логістики.

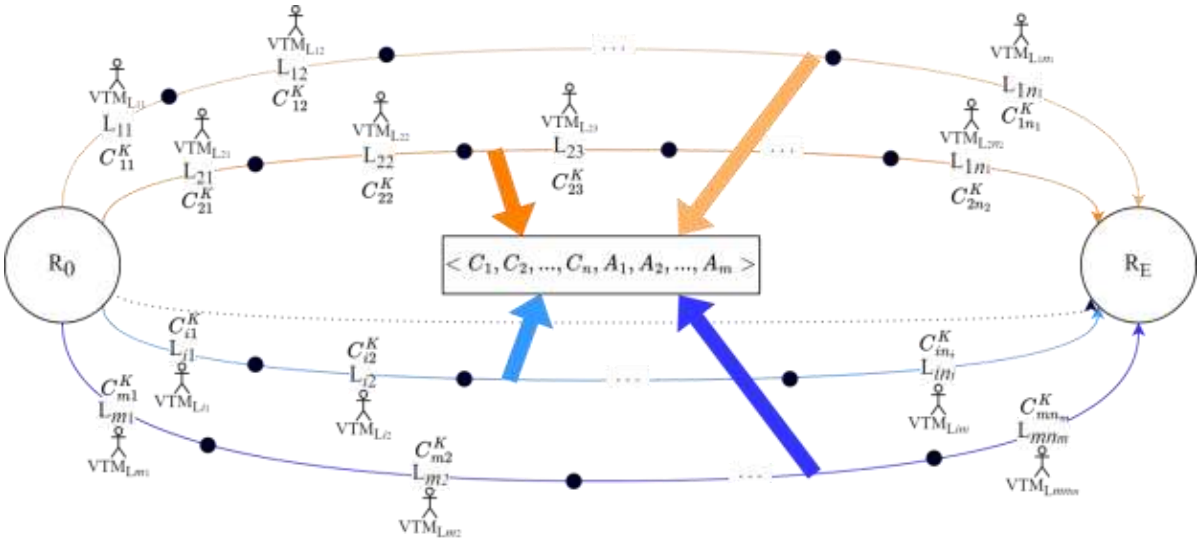


Рис. 1. Концептуальна модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації

Концептуальна модель відображає новий підхід до отримання інформації в умовах нестійкої ситуації та передбачає оцінку станів C_i певного маршрута A_i, що містить визначену низку K показників, що описують стан кожної j-ої ділянки певного маршруту A_i - C_{ij}^k. Згідно з моделлю (рис. 1) значення оцінок C_{ij}^k одержано членами команди волонтерів-спостерігачів $VTM_{L_{i_j}}$ $(i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n_i})$, які виступають в якості експертів-волонтерів і закріплені за кожною j-ою ділянкою певного маршруту A_i. Для отримання

агрегованої оцінки стану кожного маршруту C_i в подальшому враховуються оцінки експертів-волонтерів для низки показників $C_i = \{C_i^k\}$ $(k = \overline{1, K})$, де $C_i^k = \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij}^k$.

Запропонована концептуальна модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики у теоретично-множинному поданні виглядає так:

$$\text{КМ} = < C_1, C_2, ..., C_n, A_1, A_2, ..., A_m >. \quad (1)$$

Сформульовано **перший пункт наукової новизни**: вперше запропоновано концептуальну модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації, яка відрізняється від існуючих тим, що враховує динамічні зміни стану зовнішнього середовища у вигляді експертних оцінок щодо поточного стану відповідної ділянки маршруту, отриманих від членів команди волонтерів, які закріплені за відповідними ділянками маршруту, що дозволило розподілити функції між членами команди, підвищити оперативність та достовірність поточної оцінки стану маршрутів.

Для підвищення інформативності оцінки стану кожного можливого маршруту в цілому на основі оцінок ділянок маршруту для низки показників C_{ij}^k згідно з концептуальною моделлю (рис. 1) удосконалено метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту. Метод містить наступні кроки:

1. Формування розширеного списку показників оцінки поточного стану маршруту.

Якщо в класичних задачах вибору найкращого маршруту критеріями, що мінімізуються, як правило, є час та витрати, то для рішення завдань оперативної транспортної логістики в умовах динамічних змін виникає потреба у врахуванні додаткових показників оцінки поточного стану певного маршруту. В результаті проведеного експертного опитування волонтерів

одержано вісім основних показників: середня швидкість руху по ділянці маршруту (показник C_1) – кількісний тип даних; якість дорожнього покриття (показник C_2) – якісний тип даних; наявність пунктів заправки автотранспорту пальним (показник C_3) – релейний тип даних; наявність пунктів ремонту автотранспорту (показник C_4) – релейний тип даних; наявність стійкого зв'язку (показник C_5) – релейний тип даних; наявність укриттів та захисних споруд (показник C_6) – релейний тип даних; наявність медичних установ та засобів швидкої медичної допомоги (показник C_7) – релейний тип даних; наявність регулярних загроз доступності маршруту (показник C_8) – релейний тип даних.

2. Агрегування експертних оцінок показників C^k з урахуванням типів даних.

Кожному з показників експертами призначаються відповідні ваги W_k, $k = \overline{1,8}$. Після усереднення призначених експертами ваг, отримано наступний вектор оцінок ваг: $W = \left[\frac{2}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{2}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{16}, \frac{1}{16}\right]$. На основі цих ваг визначено ймовірність вкладу кожного показника в загальну інформацію про стан ділянки маршруту, при цьому передбачається, що вектор показників визначає повну систему подій:

$$p_k = \frac{W_k}{\sum_{k=1}^{8} W_k}, \ \sum_{k=1}^{8} p_k = 1. \qquad (2)$$

Для оцінки кількості інформації, яку вносить кожен показник, запропоновано використовувати інформаційну ентропію Шеннона $E_k = -p_k \log_2 p_k$, $(k = \overline{1,8})$. Припускаючи, що кожен показник вносить адитивний вклад в інформаційну ентропію, загальна інформаційна ентропія (табл. 1) розраховується наступним чином:

$$E = \sum_{k=1}^{8} E_k \ . \qquad (3)$$

З таблиці 1 видно, що з ростом кількості показників для оцінки поточного стану маршруту відбувається зростання інформативності оцінки.

Таблиця 1. Розрахунок загальної інформаційної ентропії

E	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sum_{k=1}^{8} E_k$ біт	0.5	0.75	1.13	1.5	2,0	2.25	2.5	2.75

Оскільки оцінки показників C_{ij}^{k} ($k = \overline{1,8}$, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$) представляються різними типами даних, запропоновано для агрегації експертних оцінок наданих експертами-волонтерами враховувати типи даних:

- у разі кількісної оцінки обчислюється середня оцінка кожного показника певного маршруту, враховуючи оцінку кожної ділянки маршруту:

$$C_{iagr}^{k} = \sum_{j=1}^{m} \frac{C_{ij}^{k}}{m} \, (k = \overline{1,8}, i = \overline{1,m}); \qquad (4)$$

- у разі якісної оцінки - оцінкам призначаються ранги R_j^k (табл. 3) та розраховується середній ранг $\overline{R_{ij}} = \sum_{j=1}^{m} \frac{R_j^k}{m}$ з подальшим знаходженням його цілої частини у бік зменшення $\hat{C}_{iagr}^{k} = \left[\frac{\overline{R_{ij}}}{m} \right]$. C_{iagr}^{k} одержує якісну оцінку відповідно до одержаного рангу $\hat{C}_{iagr}^{k}$ (табл. 2);

Таблиця 2. Призначення рангів якісним оцінкам показників

Якісна оцінка	дуже погано	погано	задовільно	добре	відмінно
Ранг	1	2	3	4	5

- у разі релейної оцінки агрегація відбувається за правилом:

$$\begin{cases} C_{iagr}^{k} = 1, \text{якщо більш, ніж 2/3 експертів - волонтерів надали оцінку "так"} \\ C_{iagr}^{k} = 0, \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (5)$$

Таким чином, на основі агрегації вектору оцінок стану ділянок маршруту L_{ij}, формується вектор колективної експертної оцінки відповідних показників для певного маршруту $C_i = \left\lfloor C_{iagr}^{1}, C_{iagr}^{2}, C_{iagr}^{3}, C_{iagr}^{4}, C_{iagr}^{5}, C_{iagr}^{6}, C_{iagr}^{7}, C_{iagr}^{8} \right\rfloor$ $(i = \overline{1,n})$. Цей вектор показників далі використовується в якості значень критеріїв для багатокритеріального експертного оцінювання альтернативних рішень, щодо вибору можливих маршрутів для особи, яка приймає рішення.

Сформульовано **другий пункт наукової новизни**: удосконалено метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами в умовах динамічної зміни обстановки, який, на відміну від існуючих, представлений вектором показників стану маршруту різного типу (кількісні, якісні, релейні), та правилом агрегування експертних оцінок цих показників по всіх n ділянках маршруту, що дозволило підвищити інформативність оцінки поточного стану можливих маршрутів для наступного вибору найкращого з них.

У **третьому розділі** удосконалено метод багатокритеріального експертного оцінювання SMART, з метою підвищення оперативності при виборі найкращого маршруту з можливих $A = \{A_i\}$ особою, що приймає рішення. В якості критеріїв y_j по кожному маршруту виступають як оцінки C_{iagr}^{k}, так і оцінки прийняті особою, яка приймає рішення.

Удосконалений метод mSmart реалізовано наступними кроками:

Крок 1. Впорядкування критеріїв y_j за важливістю.

Крок 2. Вибір напряму багатокритеріальної оптимізації – (максимізація/ мінімізація).

Крок 3. Призначення ваг кожному критерію y_j, $j=\overline{1,n}$, виходячи з того, що найбільш важливий з них оцінюється в 100 балів.

Крок 4. Нормування ваг критеріїв: $\omega_j = \frac{y_j}{\sum_{j=1}^{n} y_j}$, $j=\overline{1,n}$.

Крок 5. Формування матриці рішень X розміру $m \times n$, рядки якої відповідають можливим рішенням щодо вибору маршруту A_i, $i=\overline{1,m}$, стовпці – критеріям y_j, $j=\overline{1,n}$:

Крок 6. Нормування кількісних елементів матриці рішень в залежності від напряму багатокритеріальної оптимізації: у разі максимізації застосовується співвідношення (6 а), у разі мінімізації (6 б):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \text{ (6 а)}, \qquad r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \text{ (6 б)},$$

де r_{ij} - елемент нормованої матриці рішень R.

Крок 7. Нормування якісних оцінок відбувається з використанням шкали Харінгтона.

Крок 8. Нормування оцінок, що є релейними, відбувається з використанням оцінок експертного оцінювання, а саме (табл. 3):

Таблиця 3. Шкала для вимірювання оцінок, що є релейними

Оцінка	максимізація		мінімізація	
	так (бажано)	ні (не бажано)	так (не бажано)	ні (бажано)
Кількісна оцінка	0,67	0,33	0,33	0,67

Крок 9. Загальна оцінка кожної альтернативи, щодо вибору маршруту здійснюється за співвідношенням:

$$V_i = r_{ij}\omega_j,\ i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n},$$

де r_{ij} - елемент нормованої матриці рішень R.

Крок 10. Ранжування цих рішень щодо вибору маршрутів згідно з V_i.

Особливості методу: врахування виду багатокритеріальної оптимізації (крок 3), нормування якісних та релейних оцінок. Введені кроки 3, 5-7 дозволили знизити навантаження щодо формування матриці рішень на ОПР, що сприятиме підвищенню оперативності багатокритеріального експертного оцінювання.

Проведено порівняльний аналіз запропонованого методу та методу AHP з точки зору обчислювальної складності. Встановлено, що показник обчислювальної складності у разі застосування методу mSmart нижче, ніж для методу AHP в 1,14 - 3,54 разів. Таким чином, отримано суттєвий обчислювальний виграш методу mSmart порівняно з AHP, що зменшує витрати часу та підвищує оперативність рішення. Для встановлення ступеню достовірності отриманих на основі метода mSmart рішень було проведено порівняння результатів з методами AHP, MAHP, Smart на модельних ситуаціях вибору логістичного маршруту. Розраховані значення коефіцієнтів рангової кореляції Кендалла та Спірмена показали, що достовірність рішення, отриманого на основі метода mSmart, не зменшилась та є не менш достовірним ніж за методами AHP, MAHP та SMART.

Сформульовано **третій пункт наукової новизни**: удосконалено метод багатокритеріального експертного оцінювання SMART, в якому, на відміну від відомого методу SMART, враховуються різні напрями оптимізації критеріїв, застосовуються спеціальні шкали для переведення якісних та релейних оцінок у чисельні, та проводиться нормування кількісних елементів матриці рішень, що дозволило підвищити оперативність експертного оцінювання при збереженні достовірності результатів.

З урахуванням концептуальної моделі (рис. 1) та удосконаленого методу багатокритеріального експертного оцінювання mSmart розроблено метод прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні завдань транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації. Метод прийняття рішень командою волонтерів містить 3 основні стадії:

Стадія 1 – Розбиття маршруту на ділянки з призначенням експертів-волонтерів.

Крок 1.1. Координатор команди волонтерів отримує координати пунктів відправлення та доставки ресурсу. За допомогою мапи місцевості вибираються не менше, ніж три можливих маршрути. Кожен з маршрутів розбивається на ділянки.

Крок 1.2. На кожній із ділянок призначається експерт-волонтер, з яким встановлюється стійкий зв'язок. Експертам-волонтерам пояснюються показники оцінки поточного стану ділянки та способи їхньої оцінки.

Стадія 2 – Прийняття рішення.

Крок 2.1. За командою ОПР від експертів-волонтерів на ділянках маршрутів приймаються оцінки показників стану ділянок C_{ij}^{k} ($k=\overline{1,8}$, $i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n}$). Час збору інформації – T_{call}.

Крок 2.2. На основі методу формування колективної оцінки поточного стану маршруту ОПР отримує вектор показників оцінки поточного стану кожного маршруту $C_i=\left\lfloor C_{iagr}^{1}, C_{iagr}^{2}, C_{iagr}^{3}, C_{iagr}^{4}, C_{iagr}^{5}, C_{iagr}^{6}, C_{iagr}^{7}, C_{iagr}^{8}\right\rfloor$. Час формування оцінок (агрегування) – T_{agr}.

Крок 2.3. На підставі методу mSmart ОПР обирає найкращий маршрут.

Крок 2.4. Маршрут, який отримав ранг 2 у методі mSmart, обирається як резервний. Час на виконання кроків 2.3, 2.4 (прийняття рішення) – T_{DM}.

Крок 2.5. Експерти-волонтери на ділянках маршрутів, які отримали ранг менше 2, відключаються від зв'язку. Експерти-волонтери на ділянках основного маршруту (ранг 1) та резервного маршруту (ранг 2) залишаються на зв'язку.

Стадія 3 – Виконання транспортної логістичної операції.

Крок 3.1. Команда волонтерів-виконавців починає рух основним маршрутом. Рух команди контролюється ОПР. У разі зміни ситуації на своїй ділянці, яка унеможливлює просування дільницею, експерт-волонтер передає ОПР сигнал тривоги ALARM.

Крок 3.2. При надходженні сигналу ALARM із ділянки основного маршруту ОПР передає команду волонтерам-виконавцям про перехід на найближчу ділянку резервного маршруту.

Крок 3.3. Після досягнення пункту доставки ресурсу волонтери-виконавці повідомляють ОПР про закінчення завдання транспортної логістики.

Проведено моделювання методу прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні завдань транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації, яке показало, що він може бути реалізований у реальному масштабі часу, оскільки виконується умова – час прийняття рішення не перевищує час на збір і агрегування інформації:

$$T_{DM} \leq T_{call} + T_{agr}.$$

Сформульовано четвертий пункт наукової новизни: отримав подальший розвиток метод прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики, який, на відміну від існуючих, враховує динамічну зміну обстановки та використання для формування колективної оцінки поточного стану маршруту непрофесійними експертами-волонтерами, що дозволило побудувати систему підтримки прийняття рішень командою волонтерів та контролю протікання операції під час виконання оперативних завдань транспортної логістики у реальному масштабі часу.

У четвертому розділі виконано проектування та розробку мобільної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для вирішення оперативних завдань транспортної логістики волонтерами. Архітектура мобільної СППР команди волонтерів є клієнт-серверною (рис. 2). Експерти-волонтери за допомогою клієнтської частини відправляють дані на сервер за допомогою мобільного зв'язку або підключення до мережі Internet. Мобільний пристрій ОПР є сервером мобільного застосунку, який має трирівневу архітектуру: рівень подання, рівень логіки застосунку та рівень даних. На рівні логіки застосунку реалізовано підсистему прийняття рішень на основі методу

формування колективної оцінки поточного стану маршруту та удосконаленого методу багатокритеріального експертного оцінювання mSMART. Особливістю розробленої архітектури є можливість створення резервної копії даних та результатів обчислення в базі даних на веб-сервері за можливості підключення до мережі Інтернет.

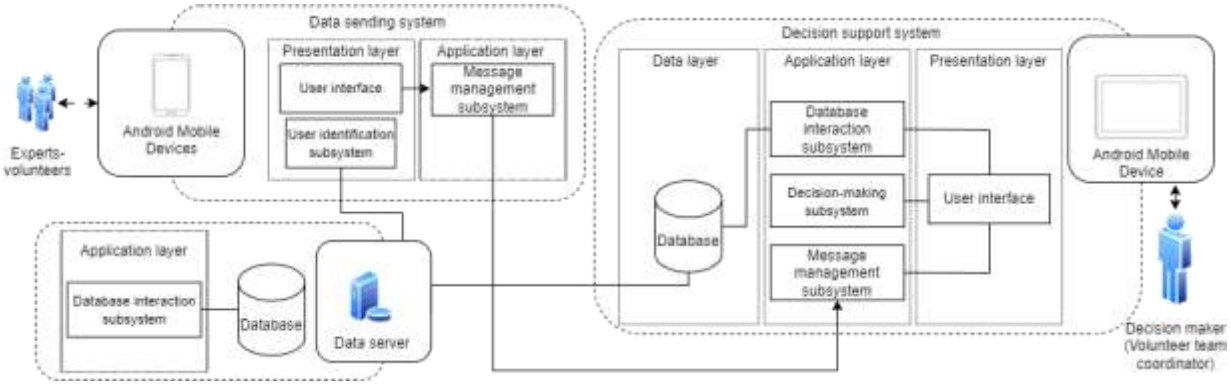


Рис. 2. Архітектура мобільної СППР для команди волонтерів

Для перевірки працездатності мобільної СППР і оцінки оперативності її роботи було розглянуто завдання доставки гуманітарної допомоги з м. Одеса до м. Миколаїв (рис. 3).

Рис. 3. Результат розв’язку завдання доставки гуманітарної допомоги

У процесі моделювання і реальних випробувань час отримання рекомендацій за допомогою розробленої мобільної СППР склав в середньому

2 хвилини, що є достатнім для вирішення оперативних завдань транспортної логістики в нестійких умовах.

Розроблені в роботі методи та інструментальні засоби отримали впровадження у діяльності благодійного фонду «Шлях до свободи» (м. Одеса) та знайшли відображення у навчальному процесі та науковій діяльності Національного університету «Одеська політехніка».

У висновках сформульовано отримані в ході роботи над дисертацією науково-практичні результати.

Ключові слова: концептуальна модель**,** транспортна логістика, метод підтримки прийняття рішень, система підтримки прийняття рішень, проектування архітектури СППР, програмна реалізація, база даних.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Daniil Horpenko, Natalya Volkova, Marina Polyakova, Victor Krylov. 2019. "Development of a mobile decision support system based on the Smart method for Android platform." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 3, no. 2 (99): 6-14. (*Наукове фахове видання України* (*Категорія "А"*), *Scopus*). DOI: 10.15587/1729-4061.2019.168163

2. Horpenko D. R. "A conceptual model of decision-making support of the volunteer team in conditions of dynamic changes". Herald of Advanced Information Technology. 2022; Vol. 5 No. 4: 275–286. (*Наукове фахове видання України* (*Категорія "Б"*)). DOI: 10.15276/hait.05.2022.20.

3. Д. Р. Горпенко, В. О. Болтьонков "Порівняльний аналіз методів рішення оперативних задач транспортної логістики". Інформатика та математичні методи в моделюванні. 2023; Т. 13 No 1-2, 34–47. (*Наукове фахове видання України* (*Категорія "Б"*)). DOI: 10.15276/imms.v13.no1-2.34

4. Horpenko D. R. “Architecture of a mobile transport route selection system by a team of volunteers in the conditions of the military state*”. Herald of Advanced Information Technology*. 2023; Vol. 6 No.2: 174 – 184. (*Наукове фахове видання України* (*Категорія "Б"*)). DOI: 10.15276/hait.06.2023.12

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Y. Kozina, N. Volkova and D. Horpenko, "Mobile Application for Decision Support in Multi-Criteria Problems," *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing* (*DSMP*), Lviv, Ukraine, 2018, pp. 56-59, DOI: 10.1109/DSMP.2018.8478499.

6. Y. Kozina, N. Volkova and D. Horpenko, "Mobile Decision Support System To Take Into Account Qualitative Estimation By The Criteria," *2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing* (*DSMP*), Lviv, Ukraine, 2020, pp. 357-361, DOI: 10.1109/DSMP47368.2020.9204134.

7. Горпенко Д. Р. Модель прийняття рішення в задачі оперативної транспортної логістики / Д. Р. Горпенко; В. О. Болтьонков // Modern Information Technology 2022/Сучасні Інформаційні Технології 2022. - Одеса, 2022. - С. 47-48. http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/1279

8. Dadashzadeh, N., Horpenko, D., Volkova, N., Ekmekci, M., Woods, L., & Nikitas, A. (2023). The role of ridesharing in improving transportation resilience during a crisis. In *55th UTSG Annual Conference, 10-12 July 2023, Cardiff, United Kingdom: UTSG2023*. http://surl.li/ljycp

9. Д. Р. Горпенко, В. О. Болтьонков. Модель формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами в умовах динамічної зміни обстановки // Матеріали 1-ї Міжнародної наук. практ. конф. «New ways of creating scientific ideas for implementation», 18-20 вересня 2023 р., Варна, Болгарія. - С. 241-244.

10. Д. Р. Горпенко, В. О. Болтьонков. Метод підтримки прийняття рішень командою волонтерів при виборі найкращого маршруту для вирішення задач оперативної транспортної логістики // Матеріали 1-ї

Міжнародної наук. практ. конф. «Distance learning in modern conditions and new technologies», 19-22 вересня 2023 р., Стокгольм, Швеція. - С. 221-224.

11. Д. Р. Горпенко, В. О. Болтьонков. Метод вибору найкращого маршруту командою волонтерів під час рішення оперативних завдань транспортної логістики // Матеріали XI Міжнародної наук. практ. конф. «Інформаційні управляючі системи і технології» (ІУСТ-2023), 21-23 вересня 2023 р. Одеса, Україна. - С. 211-213.

ABSTRACT

Horpenko D.R. Models and methods of decision-making by volunteers in operational tasks of transport logistics. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy in Computer Science, Specialization 122 – Computer Science. – Odessa Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2023.

The introduction substantiates the relevance of supporting decision-making by volunteers when solving operational tasks of transport logistics. A characteristic feature of such tasks in the conditions of martial law is the high dynamics of changes in the situation. The main requirements when making decisions in such a situation are their efficiency and reliability. Increasing the efficiency and reliability of decision-making by volunteers in such transport logistics tasks can be achieved by developing models and decision-making methods for the volunteer team that allow taking into account information about the current state of the situation, which is dynamically changing. The object, subject, tasks and research methods are defined; the scientific novelty and practical significance of the obtained results are given; the personal contribution of the acquirer is highlighted. Information is given about the approval of the work and its structure, as well as about the author's publications on the topic of the dissertation.

In the first section of the dissertation, an analysis of models and methods of solving transport logistics tasks carried out by volunteers and their features in dynamically changing conditions (unstable situation) was carried out. The main task of volunteers is to choose the best route for delivering resources to the required points. At the same time, it is important not only to minimize the costs and time of the transport operation, but also to ensure the safety of the resource and the team.

The analysis of literary sources showed that meeting the requirements of promptness and reliability when making decisions in an unstable situation depends on the following:

firstly, from the efficiency, informativeness, timeliness and completeness of information, which is usually described by a mixed type of data (quantitative, qualitative, relay) regarding the state of transportation conditions both on the entire route and on its individual sections. This requires the development of new approaches to obtaining information;

secondly, since the tasks of transport logistics performed by volunteers in an unstable situation are multi-criteria, it is necessary to apply multi-criteria expert evaluation methods when making decisions.

Well-known multi-criteria methods of expert evaluation are analyzed. It is shown that the best methods of expert evaluation of alternative solutions in the presence of mixed information are the SMART and AHP methods, their advantages and disadvantages are analyzed. Despite the fact that the AHP method is the accepted benchmark for multi-criteria expert evaluation, the SMART method was chosen as the base in the work, the advantage of which is the minimal time spent by the decision-maker. However, since it has a significant drawback - failure to take into account various directions of criteria optimization in the presence of mixed-type information, ways of its improvement are proposed.

Based on the results of the analysis, the purpose and tasks of the research were determined.

In the second section, a conceptual model for assessing the state of the route when solving the task of transport logistics in conditions of an unstable situation (Fig. 1) is developed for the delivery of resources from point R_0 to the point of need for this resource R_E, which takes into account the peculiarities of obtaining an up-to-date assessment of dynamically changing conditions of transportation due to emergency situations and takes into account the limited human resources of the volunteer team and the unprofessionalism of its members.

The decision-maker (DM) for choosing the best route is the Volunteer Team Coordinator (VTM_{MAIN}).To find a solution to the problem, the DM solves the following tasks: determining the goal, forming a set of possible routes $A=\{A_i\}$($i=\overline{1,m}$), set of conditions for the operation; receiving assessments of the current state of certain C_i routes from volunteers; decision making; issuing a decision to a team of volunteers and carrying out control over the fulfillment of the task of transport logistics.

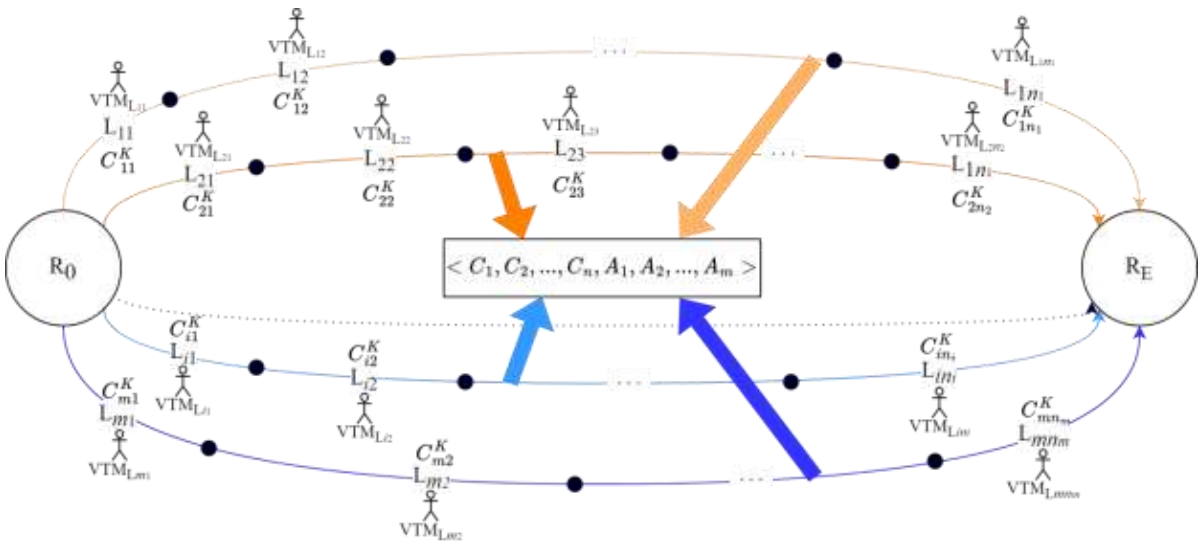


Fig. 1. Conceptual model for assessing the state of the route when solving the task of transport logistics in conditions of an unstable situation

The conceptual model reflects a new approach to obtaining information in the conditions of an unstable situation and provides for the assessment of states C_i of a certain route A_i, which contains a certain number of K indicators describing the state of each j –th section of a certain route A_i - C_{ij}^k. According to the model (Fig. 1), the value of the estimates was obtained by the members of the team of volunteer observers of $VTM_{L_{i_j}}$ ($i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n_i}$), who act as volunteer experts and are assigned to each j-th section of a certain route A_i. In order to obtain an aggregated assessment of the condition of each route C_i the evaluations of

volunteer experts for a number of indicators $C_i = \{C_i^k\}$ $(k = \overline{1, K})$, where $C_i^k = \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij}^k$ are taken into account.

The proposed conceptual model for assessing the state of the route when solving the task of transport logistics in a theoretical-multiple view looks like this:

$$\text{CM} = < C_1, C_2, ..., C_n, A_1, A_2, ..., A_m >. \quad (1)$$

The first point of scientific novelty is formulated: for the first time, a conceptual model for assessing the state of the route when solving the task of transport logistics in conditions of an unstable situation is proposed, which differs from the existing ones in that it takes into account dynamic changes in the state of the external environment in the form of expert assessments of the current state of the relevant section of the route, received from members teams of volunteers who are assigned to the relevant sections of the route, which made it possible to distribute functions among team members, increase the efficiency and reliability of the current assessment of the state of the routes.

In order to increase the informativeness of the assessment of the state of each possible route as a whole, based on the assessments of the sections of the route for a number of indicators C_{ij}^k according to the conceptual model (Fig. 1), the method of forming a collective assessment of the current state of the route has been improved. The method includes the following steps:

3. Formation of an extended list of indicators for assessing the current state of the route.

If in classic tasks of choosing the best route, the criteria that are minimized are usually time and costs, then for the solution of tasks of operational transport logistics in the conditions of dynamic changes, there is a need to take into account additional indicators of the assessment of the current state of a certain route. As a result of the conducted expert survey of volunteers, eight main indicators were obtained: the average speed of movement along the section of the route (indicator

C_1) - quantitative type of data; quality of road surface (indicator C_2) – qualitative type of data; availability of vehicle refueling points (indicator C_3) – relay type of data; availability of motor vehicle repair points (indicator C_4) – relay type of data; availability of stable communication (indicator C_5) – relay type of data; availability of shelters and protective structures (indicator C_6) – relay type of data; availability of medical institutions and means of emergency medical care (indicator C_7) – relay type of data; the presence of regular threats to the availability of the route (indicator C_8) – relay type of data.

4. Aggregation of expert assessments of C^k indicators taking into account data types.

Experts assign appropriate weights W_k, $k = \overline{1,8}$,to each of the indicators.

After averaging the weights assigned by the experts, the following vector of weight estimates was obtained: $W = \left[\frac{2}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{2}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{16}, \frac{1}{16}\right]$. Based on these weights, the probability of the contribution of each indicator to the general information about the state of the route section is determined, while it is assumed that the vector of indicators determines the complete system of events:

$$p_k = \frac{W_k}{\sum_{k=1}^{8} W_k}, \quad \sum_{k=1}^{8} p_k = 1. \tag{2}$$

To estimate the amount of information that each indicator provides, it is suggested to use Shannon's information entropy $E_k = -p_k \log_2 p_k$, $(k = \overline{1,8})$. Assuming that each indicator makes an additive contribution to the information entropy, the total information entropy (Table 1) is calculated as follows:

$$E = \sum_{k=1}^{8} E_k . \tag{3}$$

Table 1 shows that with the increase in the number of indicators for assessing the current state of the route, the informativeness of the assessment increases.

Table 1. Calculation of general information entropy

E	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sum_{k=1}^{8} E_k$ bit	0.5	0.75	1.13	1.5	2,0	2.25	2.5	2.75

Since the evaluations of C_{ij}^{k} $(k=\overline{1,8},\ i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n})$ indicators are represented by different types of data, it is proposed to take into account the following types of data for the aggregation of expert evaluations provided by volunteer experts:

- in the case of quantitative assessment, the average assessment of each indicator of a certain route is calculated, taking into account the assessment of each section of the route:

$$C_{iagr}^{k} = \sum_{j=1}^{m} \frac{C_{ij}^{k}}{m} (k=\overline{1,8}, i=\overline{1,m}); \qquad (4)$$

- in the case of a qualitative evaluation - the evaluations are assigned ranks R_j^k (Table 3) and average rank is calculated $\overline{R_{ij}} = \sum_{j=1}^{m} \frac{R_j^k}{m}$ with the subsequent finding of its whole part in the decreasing direction $\hat{C}_{iagr}^{k} = \left[\frac{\overline{R_{ij}}}{m}\right]$. C_{iagr}^{k} receives a quality assessment according to the received rank $\hat{C}_{iagr}^{k}$ (Table 2);

Table 2. Assignment of ranks to qualitative evaluations of indicators

Qualitative assessment	very bad	bad	satisfactorily	good	perfectly
Rank	1	2	3	4	5

- in case of relay assessment, aggregation takes place according to the rule:

$$\begin{cases} C_{iagr}^{k} = 1, \text{if more than 2/3 of the volunteer experts gave a "yes" rating} \\ C_{iagr}^{k} = 0, \text{in the other case.} \end{cases} \quad (5)$$

Thus, based on the aggregation of the vector of assessments of the state of the sections of the route L_{ij}, a vector of collective expert assessment of the relevant indicators for a certain route is formed $C_i = \left\lfloor C_{iagr}^{1}, C_{iagr}^{2}, C_{iagr}^{3}, C_{iagr}^{4}, C_{iagr}^{5}, C_{iagr}^{6}, C_{iagr}^{7}, C_{iagr}^{8} \right\rfloor$ ($i = \overline{1,n}$).This vector of indicators is further used as criteria values for multi-criteria expert evaluation of alternative decisions, regarding the choice of possible routes for the decision-maker.

The second item of scientific novelty has been formulated: the method of forming a collective assessment of the current state of the route by volunteer experts in conditions of dynamic change of the situation has been improved, which, unlike the existing ones, is represented by a vector of indicators of the state of the route of various types (quantitative, qualitative, relay), and the rule of aggregation of expert assessments of these indicators on all *n* sections of the route, which made it possible to increase the informativeness of the assessment of the current state of possible routes for the next selection of the best of them.

In the third chapter, the method of multi-criteria expert evaluation SMART is improved, with the aim of increasing the efficiency of choosing the best route from possible $A = \{A_i\}$ by the decision-maker. Both C_{iagr}^{k}, ratings and decision-maker ratings are used as criteria y_j for each route.

The improved mSmart method is implemented in the following steps:

Step 1. Ordering of criteria by importance.

Step 2. Selection of the direction of multi-criteria optimization - (maximization/ minimization).

Step 3. Assignment of weights to each criterion y_j, $j = \overline{1,n}$, based on the fact that the most important of them is estimated at 100 points.

Step 4. Normation of the criteria weights: $\omega_j = \frac{y_j}{\sum_{j=1}^{n} y_j}$, $j = \overline{1,n}$.

Step 5. Formation of the decision matrix X of $m \times n$ size, the rows of which correspond to the possible decisions regarding the choice of the route A_i, $i = \overline{1,m}$, and the columns y_j, $j = \overline{1,n}$ correspond to the criteria.

Step 6. Normalization of the quantitative elements of the decision matrix depending on the direction of multi-criteria optimization: in the case of maximization, the ratio (6 a) is used, in the case of minimization (6 b):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \text{ (6 a)}, \qquad r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \text{ (6 b)},$$

where r_{ij} - an element of the normalized decision matrix R.

Step 7. Standardization of qualitative assessments occurs using the Harington scale.

Step 8. Normalization of relay grades occurs using expert assessment grades, namely (Table 3):

Table 3. The scale for measuring relay grades

Assessment	maximization		minimization	
	yes (preferred)	no (not preferred)	yes (not preferred)	no (preferred)
Quantitative assessment	0,67	0,33	0,33	0,67

Step 9. The general evaluation of each alternative, regarding the choice of route, is carried out according to the ratio:

$$V_i = r_{ij}\omega_j, \; i = \overline{1,m}, \; j = \overline{1,n},$$

where r_{ij} - an element of the normalized decision matrix R.

Step 10. Ranking these routing decisions according to V_i.

Features of the method: taking into account the type of multi-criteria optimization (step 3), normalization of qualitative and relay evaluations. The introduced steps 3, 5-7 made it possible to reduce the burden on the DM regarding the formation of the decision matrix, which will contribute to increasing the efficiency of the multi-criteria expert evaluation.

A comparative analysis of the proposed method and the AHP method was carried out from the point of view of computational complexity. It was found that the computational complexity index in the case of using the mSmart method is 1.14 - 3.54 times lower than for the AHP method. Thus, a significant computational gain of the mSmart method compared to AHP was obtained, which reduces time consumption and increases the efficiency of the decision. To establish the degree of reliability of the solutions obtained on the basis of the mSmart method, a comparison of the results with the AHP, MAHP, Smart methods was carried out on model situations of choosing a logistics route. The calculated values of the Kendall and Spearman rank correlation coefficients showed that the reliability of the decision obtained on the basis of the mSmart method did not decrease and is no less reliable than the AHP, MAHP and SMART methods.

The third item of scientific novelty was formulated: the method of multi-criteria expert evaluation SMART was improved, in which, unlike the well-known SMART method, different directions of criteria optimization are taken into account, special scales are used to convert qualitative and relay evaluations into numerical ones, and quantitative elements of the decision matrix are standardized, which made it possible to increase the efficiency of expert evaluation while maintaining the reliability of the results.

Taking into account the conceptual model (Fig. 1) and the improved mSmart method of multi-criteria expert evaluation, a decision-making method by a team of volunteers for solving transport logistics tasks in an unstable situation has been developed. The method of decision-making by a team of volunteers includes 3 main stages:

Stage 1 – Dividing the route into sections with the appointment of volunteer experts.

Step 1.1. The coordinator of the volunteer team receives the coordinates of the points of departure and delivery of the resource. At least three possible routes are selected using the terrain map. Each of the routes is divided into sections.

Step 1.2. An expert-volunteer is appointed at each of the sites, with whom a stable connection is established. Indicators of assessment of the current state of the site and methods of their assessment are explained to the volunteer experts.

Stage 2 - Decision making.

Step 2.1. At the DM's command, assessments of the indicators of the condition of the sections are accepted from volunteer experts on the sections of the routes C_{ij}^{k} ($k=\overline{1,8}, i=\overline{1,m}, j=\overline{1,n}$).The time of information collection – T_{call}.

Step 2.2. Based on the method of forming a collective assessment of the current state of the route, DM receives a vector of indicators of the assessment of the current state of each route $C_i = \lfloor C_{iagr}^{1}, C_{iagr}^{2}, C_{iagr}^{3}, C_{iagr}^{4}, C_{iagr}^{5}, C_{iagr}^{6}, C_{iagr}^{7}, C_{iagr}^{8} \rfloor$. The time of formation of estimates (aggregation) – T_{agr}.

Step 2.3. Based on the mSmart method, DM chooses the best route.

Step 2.4. The route that received rank 2 in the mSmart method is selected as a backup. Time for steps 2.3, 2.4 (decision making) – T_{DM}.

Step 2.5. Experts-volunteers on sections of the routes, which received a rank of less than 2, are disconnected from the connection. Volunteer experts on the sections of the main route (rank 1) and reserve route (rank 2) remain in contact.

Stage 3 – Execution of a transport logistics operation.

Step 3.1. A team of volunteer performers starts moving along the main route. Team movement is controlled by the DM. In the event of a change in the situation in his area, which makes it impossible to advance through the area, the expert volunteer sends to the DM an ALARM signal.

Step 3.2. When an ALARM signal is received from the section of the main route, the DM sends a command to volunteer volunteers to move to the nearest section of the reserve route.

Step 3.3. After reaching the point of delivery of the resource, performing volunteers inform the DM about the completion of the transport logistics task.

Modeling of the decision-making method by a team of volunteers when solving transport logistics tasks in an unstable situation was carried out, which showed that it can be implemented on a real time scale, since the condition is met - the decision-making time does not exceed the time for collecting and aggregating information:

$$T_{DM} \leq T_{call} + T_{agr}.$$

The fourth point of scientific novelty was formulated: the method of decision-making by a team of volunteers in solving operational tasks of transport logistics was further developed, which, unlike the existing ones, takes into account the dynamic change of the situation and use for the formation of a collective assessment of the current state of the route by non-professional volunteer experts, which made it possible to build a system support for decision-making by a team of volunteers and control of the flow of operations during the implementation of operational tasks of transport logistics in real time.

In the fourth section, the design and development of a mobile decision support system (DSS) for solving operational tasks of transport logistics by volunteers was carried out. The architecture of the volunteer team's mobile DSS is client-server (Fig. 2). Volunteer experts use the client part to send data to the server using a mobile phone or Internet connection. The DM's mobile device is a mobile application server that has a three-tier architecture: the presentation layer, the application logic layer, and the data layer. At the program logic level, a decision-making subsystem is implemented based on the method of forming a collective assessment of the current state of the route and the improved mSMART method of multi-criteria expert assessment. A feature of the developed architecture

is the possibility of creating a backup copy of data and calculation results in a database on a web server with the possibility of connecting to the Internet.

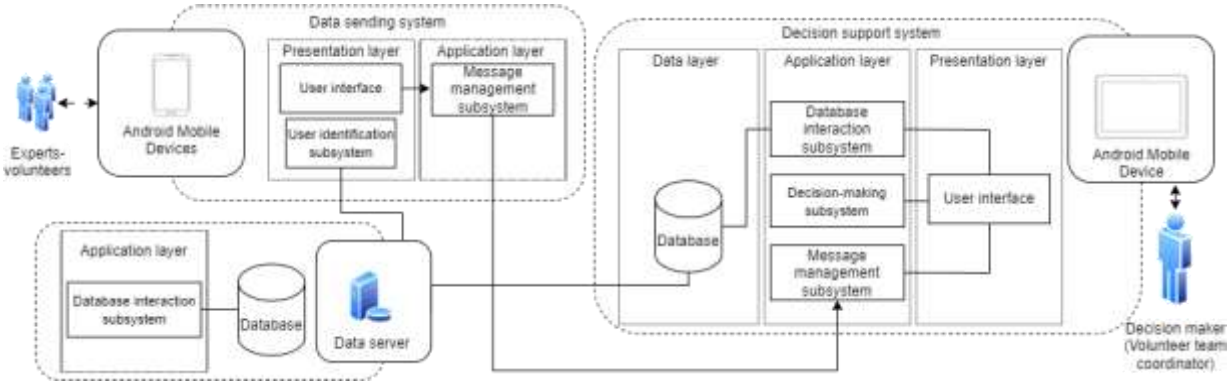


Fig. 2. Mobile DSS architecture for a team of volunteers

The task of delivering humanitarian aid from Odesa to Mykolaiv was considered in order to check the functionality of the mobile DSS and assess the efficiency of its work (Fig. 3).

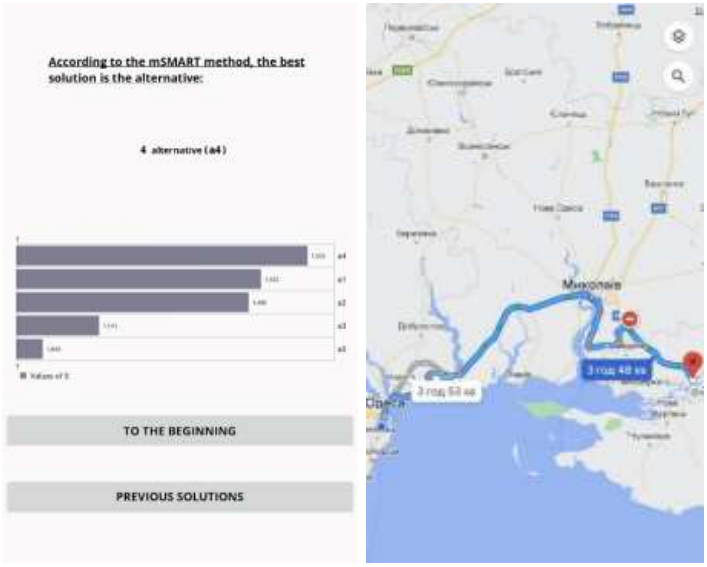


Fig. 3. The result of solving the task of delivering humanitarian aid

In the process of simulation and real tests, the time of receiving recommendations using the developed mobile DSS was an average of 2 minutes, which is sufficient for solving operational tasks of transport logistics in unstable conditions.

The methods and tools developed in the work were implemented in the activities of charitable foundation "SHLIAKH DO SVOBODY " (Odesa) and were

reflected in the educational process and scientific activity of the Odesa Polytechnic National University.

The scientific and practical results obtained during the work on the dissertation are formulated **in the conclusions.**

Keywords: conceptual model**,** transport logistics, decision support method, decision support system, DSS architecture design, software implementation, database.

LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE TOPICS OF THE DISSERTATION

Papers in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Daniil Horpenko, Natalya Volkova, Marina Polyakova, Victor Krylov. 2019. "Development of a mobile decision support system based on the Smart method for Android platform." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 3, no. 2 (99), 6 – 14. (*Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "A", Scopus).* DOI: 10.15587/1729-4061.2019.168163

2. Horpenko D. R. "A conceptual model of decision-making support of the volunteer team in conditions of dynamic changes". Herald of Advanced Information Technology. 2022; Vol. 5 No. 4, 275 – 286. (*Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "B"*). DOI: 10.15276/hait.05.2022.20.

3. Horpenko D.R, V.O. Boltenkov "Comparative analysis of methods for solving operational problems of transport logistics". Informatics And Mathematical Methods In Simulation. 2023; T. 13 No 1 – 2, 34 – 47. *(Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "B").* DOI: 10.15276/imms.v13.no1-2.34

4. Horpenko D. R. "Architecture of a mobile transport route selection system by a team of volunteers in the conditions of the military state". *Herald of Advanced Information Technology*. 2023; Vol. 6 No.2, 174 – 184. (*Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "B"*). DOI: 10.15276/hait.06.2023.12

Papers certifying the approbation of the dissertation materials:

5. Y. Kozina, N. Volkova and D. Horpenko, "Mobile Application for Decision Support in Multi-Criteria Problems", *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2018, 56 – 59, DOI: 10.1109/DSMP.2018.8478499.

6. Y. Kozina, N. Volkova and D. Horpenko, "Mobile Decision Support System To Take Into Account Qualitative Estimation By The Criteria", *2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2020, 357 – 361, DOI: 10.1109/DSMP47368.2020.9204134.

7. Horpenko D. R. Model of decision making in the operational transport logistics task / Horpenko D. R; V.O. Boltenkov // Modern Information Technology 2022. Odesa, 2022. 47 – 48. http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/1279

8. Dadashzadeh, N., Horpenko, D., Volkova, N., Ekmekci, M., Woods, L., & Nikitas, A. (2023). The role of ridesharing in improving transportation resilience during a crisis. In *55th UTSG Annual Conference, 10 – 12 July 2023, Cardiff, United Kingdom: UTSG2023*. http://surl.li/ljycp

9. Horpenko D. R, V. O. Boltenkov. The model of forming a collective assessment of the current state of the route by volunteer experts in conditions of dynamic changes in the situation // The I International Scientific and Practical Conference «New ways of creating scientific ideas for implementation», September 18 – 20, 2023, Varna, Bulgaria. 241 – 244.

10. Horpenko D. R, V. O. Boltenkov. A method of supporting decision-making by a team of volunteers when choosing the best route for solving operational transport logistics problems // The 1st International scientific and practical conference «Distance learning in modern conditions and new technologies» (September 19–22, 2023) Stockholm, Sweden. International Science Group. 2023, 221 – 224.

11. Horpenko D. R, V. O. Boltenkov. The Method Of Choosing The Best Route By A Team Of Volunteers During Solution Of Operational Tasks Of Transport Logistics // Materials of the XI International Scientific Conference «Information-Management Systems and Technologies» 21th – 23th September, 2023, Odesa, 211 – 213.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ……. 35
ВСТУП……..…...……. 36
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ВОЛОНТЕРАМИ …….……..……. 43
1.1 Аналіз задач транспортної логістики, які вирішують волонтери.… 43
1.1.1 Аналіз моделей та методів розв’язання задач транспортної логістики в умовах стаціонарності зовнішнього середовища……..… 45
1.1.2 Аналіз моделей та методів розв’язання задач транспортної логістики в умовах динамічних змін зовнішнього середовища……...… 49
1.2 Аналіз систем підтримки прийняття рішень при виборі логістичних маршрутів…….… 54
1.3 Висновки до першого розділу…….….. 55
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ СТАНУ МАРШРУТУ ТА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ КОЛЕКТИВНОЇ ОЦІНКИ ФОРМУВАННЯ КОЛЕКТИВНОЇ ОЦІНКИ ПОТОЧНОГО СТАНУ МАРШРУТУ...…… 57
2.1 Розробка концептуальної моделі оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації…….…… 58
2.2 Розробка методу формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами……..….. 61
2.3 Дослідження розробленої концептуальної моделі оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації шляхом моделювання……..……..… 66
2.4 Висновки до другого розділу…….….. 71
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ КОМАНДОЮ ВОЛОНТЕРІВ..... 73

3.1 Удосконалення методу багатокритеріального експертного оцінювання SMART…….…….. 74
3.2 Дослідження запропонованого методу mSmart шляхом моделювання…… 77
3.3 Порівняльний аналіз методів AHP та mSmart……...…... 80
3.3.1 Адекватність до змін альтернатив…….…….... 80
3.3.2 Адекватність до змін критеріїв……..…… 83
3.3.3 Гнучкість у процесі прийняття рішень……. 85
3.3.4 Обчислювальна складність…… 87
3.4 Дослідження достовірності отриманих на основі метода mSmart рішень……..…..….. 89
3.5 Метод прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики……...……..… 92
3.6 Експериментальне дослідження розробленого метода шляхом моделювання……...… 94
3.7 Висновки до третього розділу……..….... 97
РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА МОБІЛЬНОЇ СППР ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ВОЛОНТЕРАМИ……..…..… 100
4.1 Архітектура мобільної СППР для підтримки прийняття рішень волонтерами…… 100
4.2 Проект програмної реалізації мобільної СППР для підтримки прийняття рішень волонтерами…… 104
4.3 Випробування мобільної СППР для вирішення оперативного завдання транспортної логістики волонтерами……...…. 114
4.4 Висновки до четвертого розділу…….… 122
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..... 124
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..…… 126
ДОДАТОК А Список опублікованих праць за темою дисертації…… 139
ДОДАТОК Б Анкета опитування волонтерів щодо станів логістичного

маршруту……...…..…. 141

ДОДАТОК В Акт про впровадження в навчальний процес Національного університету «Одеська політехніка» результатів дисертаційної роботи…….…. 152

ДОДАТОК Д Довідки про використання результатів дисертаційної роботи у науково-дослідницькій діяльності Національного університету……..… 153

ДОДАТОК Ж Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи у Благодійному фонді «Шлях до свободи»..... 155

ДОДАТОК З Елементи програмної реалізації розробленої системи.....…… 156

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

КМ – Інформаційна модель

КВ – Команда волонтерів

НМ – Найкращій маршрут

ОПР – Особа, яка приймає рішення

СППР – Система підтримки прийняття рішень

AHP – Analytic Hierarchy Process

CM – Conceptual Model

ELECTRE – ELimination Et Choix Traduisant la Realite

MAHP – Multiplicative Analytic Hierarchy Process

MCDM – Multiple-criteria decision-making

SMART – Simple Multi-Attribute Rating Technique

TOPSIS – Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

VT – Volunteer Team

ВСТУП

Актуальність дослідження. Транспортна логістика - це сфера діяльності, пов'язана з доставкою певного ресурсу від місця його розміщення до місця споживання за оптимальним маршрутом. Характерною особливістю завдання транспортних операцій, які здійснюються волонтерами в умовах воєнного стану, є висока динаміка зміни ситуації. На достовірність та оперативність прийняття рішення впливає оперативно отримана інформація щодо змін стану поточної ситуації на маршруті.

За стабільних умов транспортування рішенням завдання транспортної логістики є отримання оптимального маршруту, характеристиками якого є найкоротший час та мінімальні витрати на доставку логістичного об'єкту. У цьому аспекті задача побудови оптимального логістичного маршруту є багатокритеріальною. Прикладом таких задач є транспортна задача для вирішення якої застосовуються різні методи багатокритеріальної оптимізації. Розв’язком транспортної задачі є оптимальний за певним критерієм план перевезень логістичного об’єкту з пункту відправлення до пункту потреби.

Однак в умовах військових дій з обстановкою на маршрутах, яка динамічно змінюється виникає невизначеність стану зовнішнього середовища і ділянки маршруту або весь маршрут загалом можуть стати непридатними для руху автомобільної колони або небезпечними для життя та здоров'я людей. За таких умов системи транспортної логістики потребують від волонтерів оперативного врахування швидких змін стану зовнішнього середовища, зокрема, можливі розриви на ділянках маршруту, пов'язаних з їх бойовими перекриттями тощо. Таким чином, виникає багатокритеріальна задача прийняття рішення, яка полягає в знаходженні найкращого маршруту з можливих з врахуванням оцінок стану маршрутів за великою кількістю показників в оперативних умовах. Але отримати оцінки показників стану маршрутів за таких умов є складним завданням, так як залучення професійних експертів для надання оцінок є практично неможливим. Таким

чином, застосування методів багатокритеріальної оптимізації ускладнюється відсутністю точної інформації щодо стану маршрутів і наявністю великої кількості показників маршрутів.

Для підвищення достовірності та оперативності прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики запропоновано одержувати інформацію від волонтерів, які безпосередньо знаходяться на маршрутах і володіють сучасною інформацією щодо стану маршрутів. При цьому рішення щодо обрання найкращого маршруту має бути прийняте за час менший, ніж час старіння інформації про поточний стан маршруту. Для забезпечення підтримки прийняття рішення волонтерами під час розв’язання завдань транспортної логістики необхідно розробити концептуальну модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації, яка спирається на власні людські ресурси команди волонтерів, метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту і метод багатокритеріального експертного оцінювання.

Таким чином, в рамках даного дослідження вирішується важлива науково-практична задача підвищення оперативності прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики при збереженні достовірності за рахунок розробки моделей та методів прийняття рішень для команди волонтерів, які дозволяють враховувати інформацію щодо поточного стану ситуації, яка динамічно змінюється.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з планами наукових досліджень Національного університету «Одеська політехніка», а саме, в межах держбюджетної науково-дослідницької роботі № 181-132 «Моделювання систем, що самоорганізуються, і керованих динамічних систем» (2019 - 2021 р. р) № ДР 0119U003520 (довідка від 03.1132023 № 1820/132-07), в грантовій програмі UK-Ukraine Twinning Grants Scheme № UUT22 «A novel and reliable

Decision Support System (DSS) on recovery route selection in transport logistics for volunteer teams» (довідка від 03.1132023 № 1821/145-07).

Метою дослідження є розробка моделей та методів прийняття рішень командою волонтерів в оперативних завданнях транспортної логістики для підвищення оперативності при збереженні достовірності.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі задачі.

– аналіз існуючих методів прийняття рішень у завданнях транспортної логістики та їх особливості в умовах обстановки, що динамічно змінюється;

– розробка концептуальної моделі оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації;

– удосконалення методу формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами в умовах динамічної зміни обстановки;

– удосконалення методу багатокритеріального експертного оцінювання SMART для підвищення оперативності вибору транспортного маршруту;

– удосконалення методу прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики;

– проектування, розробка та експериментальне дослідження мобільної СППР для підтримки прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики.

Об’єктом дослідження є процес ухвалення рішень в оперативних завданнях транспортної логістики.

Предметом дослідження є моделі та методи прийняття рішень в оперативних завданнях транспортної логістики.

Методи дослідження. Для досягнення мети використані методи математичного моделювання, експертного оцінювання, теорії інформації, математичної статистики при розробці концептуальної моделі оцінки стану маршруту та розробці методу формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами при вирішенні завдання

транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації; багатокритеріальні методи експертного оцінювання використані під час розробки методу багатокритеріального експертного оцінювання та методу прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні завдань транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні науково-технічної задачі підвищення оперативності прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики при збереженні достовірності.

1. Вперше запропоновано концептуальну модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації, яка відрізняється від існуючих тим, що враховує динамічні зміни стану зовнішнього середовища у вигляді експертних оцінок щодо поточного стану відповідної ділянки маршруту, отриманих від членів команди волонтерів, які закріплені за відповідними ділянками маршруту, що дозволило розподілити функції між членами команди, підвищити оперативність та достовірність поточної оцінки стану маршрутів.

2. Удосконалено метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами в умовах динамічної зміни обстановки, який, на відміну від існуючих, представлений вектором показників стану маршруту різного типу (кількісні, якісні, релейні), та правилом агрегування експертних оцінок цих показників по всіх n ділянках маршруту, що дозволило підвищити інформативність оцінки поточного стану можливих маршрутів для наступного вибору найкращого з них.

3. Удосконалено метод багатокритеріального експертного оцінювання SMART, в якому, на відміну від відомого методу SMART, враховуються різні напрями оптимізації критеріїв, застосовуються спеціальні шкали для переведення якісних та релейних оцінок у чисельні, та проводиться нормування кількісних елементів матриці рішень, що дозволило підвищити

оперативність експертного оцінювання при збереженні достовірності результатів.

4. Отримав подальший розвиток метод прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики, який, на відміну від існуючих, враховує динамічну зміну обстановки та використання для формування колективної оцінки поточного стану маршруту непрофесійними експертами-волонтерами, що дозволило побудувати систему підтримки прийняття рішень командою волонтерів та контролю протікання операції під час виконання оперативних завдань транспортної логістики у реальному масштабі часу.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці мобільної системи підтримки прийняття рішень для підтримки прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики.

Використання розробленої мобільної системи підтримки прийняття рішень дозволило на 10% підвищити оперативність прийняття рішень командою волонтерів в оперативних завданнях транспортної логістики.

Розроблені в роботі методи та інструментальні засоби отримали впровадження у діяльності благодійного фонду «Шлях до свободи» (м. Одеса) (Додаток Ж) та знайшли відображення у навчальному процесі (Додаток В) та науковій діяльності Національного університету «Одеська політехніка» (Додатки Д).

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення, висновки і рекомендації, що містяться в дисертації та виносяться на захист, отримано здобувачем особисто в період з 2018 по 2023 рік. Список публікацій здобувача за темою дисертації наведено в додатку А. У науковій праці [1] внесок здобувача полягає в програмній реалізації мобільного застосунку для підтримки прийняття рішень; у науковій праці [2] – розроблено концептуальну модель прийняття рішень командою волонтерів в умовах динамічних змін; у науковій праці [3] – проведено експерименти з вибору найкращого маршруту; у науковій праці [4] – розроблено архітектуру та

описано мобільний застосунок для експертів-волонтерів та проведенні експерименту; у науковій праці [5] – проведено аналіз систем для підтримки прийняття рішень; у науковій праці [6], внесок здобувача полягає в удосконаленні методу SMART щодо врахування якісних та релейних даних і проведені експерименту; у науковій праці [7], внесок здобувача полягає в розробці моделі прийняття рішень в задачі оперативної транспортної логістики; у науковій праці [8], внесок здобувача полягає в аналізі особливостей транспортної логістики до та під час кризи; у науковій праці [9], внесок здобувача полягає в розробці моделі формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами за умов динамічної зміни обстановки; у науковій праці [10], внесок здобувача полягає в розробці методу підтримки прийняття рішень командою волонтерів під час вибору транспортного маршруту та проведені експерименту; у науковій праці [10], внесок здобувача полягає в розробці методу вибору найкращого маршруту командою волонтерів для оперативних завдань транспортної логістики.

У роботах, які опубліковані у співавторстві автору дисертації особисто належать основні ідеї, теоретична та практична розробка положень, які відображені в характеристиці наукової новизни отриманих результатів, а саме: запропоновано концептуальну модель оцінки стану маршруту при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики [2,7], запропоновано метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами за умов динамічної зміни обстановки [9, 11], удосконалено метод багатокритеріального експертного оцінювання SMART [1, 5-6], запропоновано метод прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики [10,11], проаналізовано особливості завдань транспортної логістики за умов динамічної зміни обстановки та методів їх розв'язку [2,3,8], розроблено архітектуру мобільної системи підтримки прийняття рішень команди волонтерів в умовах динамічної зміни обстановки [1, 4].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і практичні результати дисертаційної роботи доповідалися та одержали схвалення на таких конференціях: Друга міжнародна науково-технічна конференція «Data Stream Mining & Processing (DSMP)» (Львів, Україна, 2018), Третя міжнародна науково-технічна конференція «Data Stream Mining & Processing (DSMP)» (Львів, Україна, 2020), Міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених «Сучасні інформаційні технології – 2022» (Одеса, Україна, 2022), Перша Міжнародна науково-практична конференція «New ways of creating scientific ideas for implementation» (Варна, Болгарія, 2023), Перша Міжнародна науково-практична конференція «Distance learning in modern conditions and new technologies» (Стокгольм, Швеція, 2023), 55-та щорічна конференція UTSG (Кардіфф, Великобританія, 2023), XI Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні управляючі системи і технології» (Одеса, Україна, 2023).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових робіт, в тому числі: 1 стаття опублікована у виданні, включеному до Переліку фахових видань України (Категорія "А", Scopus), 3 статті опубліковані у виданнях, включених до Переліку фахових видань України (Категорія "Б"), а також 7 тезах наукових конференцій, 2 з яких включено до наукометричної бази Scopus.

Структура і обсяг роботи.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 169 сторінок, в тому числі: 125 сторінки основного тексту, 33 рисунки і 21 таблиця, список використаних джерел з 108 найменувань і 6 додатків.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ВОЛОНТЕРАМИ

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз задач транспортної логістики, які вирішують волонтери під час надання допомоги в транспортуванні вантажів або людей, проаналізовано моделі та методи прийняття рішень волонтерами за різних умов транспортування. Показано, що на даний час, в умовах військових дій, особлива увага приділяється підтримці волонтерів під час рішення оперативних задач транспортної логістики. Показано, що характерною особливістю завдань транспортної логістики, які здійснюються волонтерами в умовах воєнного стану, є висока динаміка зміни ситуації, а основними вимогами при прийнятті рішень є їхня достовірність та оперативність. На основі проведеного аналізу існуючих методів рішення завдань транспортної логістики запропоновано шляхи підвищення оперативності прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики, які не знижують рівень достовірності прийняті рішень.

1.1. Аналіз задач транспортної логістики, які вирішують волонтери

Волонтерський рух як форма суспільної діяльності, спрямованої на надання недержавної допомоги верствам населення, що її особливо потребують, існує досить давно [1]. Донедавна об'єктами волонтерської допомоги в основному були групи людей, які постраждали від стихійного лиха, соціальних катаклізмів, катастроф. Так, в законі України «Про волонтерську діяльність» вказані наступні напрями волонтерської діяльності: надання допомоги малозабезпеченим, безробітних, багатодітних, бездомних, безпритульних осіб; здійснення догляду за хворими, особами з інвалідністю, одинокими, людьми похилого віку та іншими особами, які через свої фізичні,

матеріальні чи інші особливості потребують підтримки та допомоги; надання допомоги громадянам, які постраждали внаслідок надзвичайної ситуації техногенного чи природного характеру [2]. З 2014 року з'являються нові види волонтерства в Україні в наслідок подій на Майдані та початком проведення антитерористичної операції на Сході України [3]. Одним з нових напрямів волонтерського руху став військовий, сферою якого є захист безпеки населення та інтересів держави у зв'язку з військовою агресією Російської Федерації проти України та/або іншої країни проти України; надання допомоги Збройним Силам України, іншим військовим формуванням, правоохоронним органам, органам державної влади під час дії особливого періоду, дії правового режиму надзвичайного чи воєнного стану, проведення антитерористичної операції, здійснення заходів із забезпечення національної безпеки і оборони; надання допомоги особам/сім'ям, які опинилися у складних життєвих обставинах через шкоду, завдану бойовими діями, терористичним актом, збройним конфліктом, тимчасовою окупацією, збройною агресією Російської Федерації проти України та/або іншої країни проти України [2, 4, 5]. Серед напрямів волонтерської діяльності програма волонтерства ООН (United Nations Volunteers, UNV) виділяє управління логістикою та постачанням, закупівлі [6].

Волонтерами виконується допомога військовим частинам; збір та доставка гуманітарної допомоги населенню; перевезення людей з небезпечних зон [7-9], що є завданням транспортної логістики, яка представляє собою систему організації доставки вантажу до місця потреби за деяким маршрутом. Завдання транспортної логістики не обмежуються лише перевезенням вантажів. Транспортна логістика також включає в себе перевезення людей, наприклад, під час евакуації. При цьому важливо забезпечити безпеку пасажирів та вантажу. Для цього необхідно ретельно планувати маршрути, враховуючи всі фактори, включаючи безпеку та ефективність[10-12]. Внаслідок військових дій на території Україні транспортна логістика набула значних змін. Пошкодження транспортної

інфраструктури, обмеження руху та інші фактори ускладнили перевезення вантажів і людей [8]. У таких умовах волонтери стали відігравати важливу роль у транспортній логістиці [13].

Одним із основних завдань транспортної логістики є пошук найкращого (оптимального) маршруту (НМ) є [14-19], а саме маршруту, яким можна доставити логістичний об'єкт у найкоротші терміни, з мінімальними витратами, і навіть з мінімальним негативним впливом на логістичний об'єкт як із боку зовнішніх чинників, так і з боку тимчасового чинника під час доставки об'єктів, які входять у цю категорію. У цьому аспекті задача побудови оптимального логістичного маршруту є багатокритеріальною [20], вирішення якої значно ускладнюють умови невизначеності стану зовнішнього середовища, наприклад в умовах війни та криз.

1.1.1 Аналіз моделей та методів розв’язання задач транспортної логістики в умовах стаціонарності зовнішнього середовища

До задач транспортної логістики за стабільних умов транспортування відносяться: задача комівояжера [21, 22], транспортна задача [23-25], задача про призначення [26, 27].

Розв’язком транспортної задачі є оптимальний за деяким критерієм план перевозок з пункту відправлення до пункту потреби. Розглядається n пунктів відправлення, в яких знаходиться деяка кількість однорідного логістичного товару A_i у кількості a_i $(i=\overline{1,n})$ відповідно. Даний товар необхідно доставити до m пунктів відправлення B_j з відповідним обсягом потреби b_j $(j=\overline{1,m})$. Ціллю є задоволення попиту споживачів з мінімальними транспортними витратами. Схематично модель системи перевезення можна представити наступним чином (рис. 1.1). Задача про призначення є частинним випадком транспортної задачі, в якій кількість пунктів відправлення і потреби співпадає, тобто $n=m$.

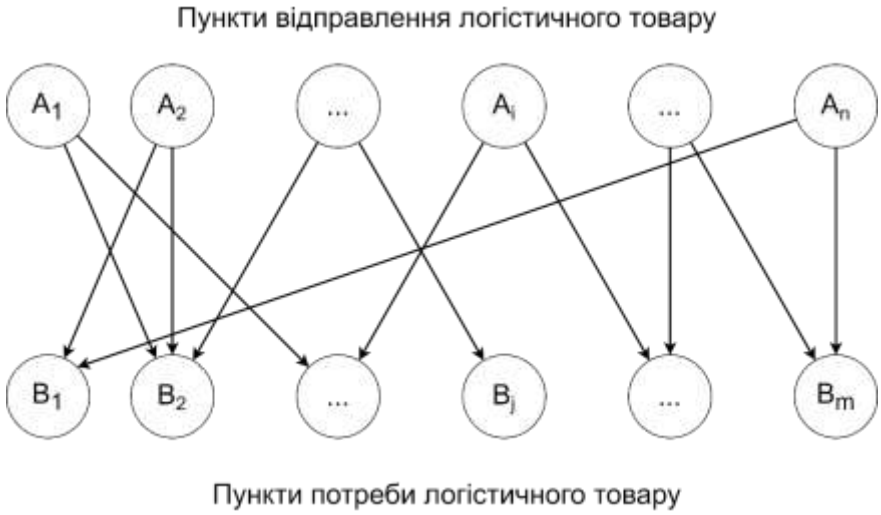


Рис. 1.1. Схематична модель системи перевезення однорідного логістичного товару в транспортній задачі

Розв'язком задачі комівояжера є оптимальний за відстанню маршрут через усі міста маршруту з пункту відправлення A_i $(i = \overline{1,n})$ і повернення до пункту відправлення, при цьому кожне місто може бути відвідане лише один раз.

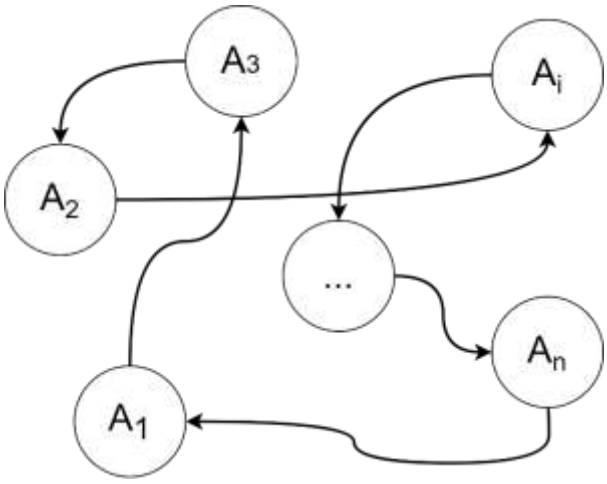


Рис. 1.2. Схематична модель системи перевезення логістичного товару в задачі комівояжера

До загальних характеристик вище вказаних задач слід віднести наступні:

- наявність одного критерію: в транспортної задачі - це вартість доставки з пункту відправлення до пункту потреби, який має бути

мінімізованим; в задачі про призначення критерієм може бути відстань, або час доставки який теж підлягає мінімізації; в задачі комівояжера критерієм є відстань;

- лінійність;
- стабільні умови транспортування вантажу.

Однак, на практиці виникають задачі даного типу, коли є невизначеність стану зовнішнього середовища (несприятливі дорожні, погодні умови, непередбачені затримки), крім того задачі є багатокритеріальними і нелінійними [28, 29]. Наприклад, транспортна задача за критерієм часу, який мінімізується є нелінійною, так як в такій постановці цільова функція представляється нелінійною функцією від змінних [30].

В роботі [31] було проаналізовано методи розв’язку багатокритеріальних транспортних задач, які було поділено на три класи: нечітке програмування з лінійними або нелінійними функціями належності, генетичні алгоритми, методи багатокритеріальної лінійної оптимізації. Одним з методів багатокритеріальної лінійної оптимізації, який застосовується при розв’язанні багатокритеріальної транспортної задачі є метод поступок [32]. У цьому випадку знаходять компромісне рішення, яке забезпечує найкращий розв’язок за головним критерієм при умові того, що рішення за останніми критеріями не є гірше ніж задано.

Для вирішення транспортних задач з невизначеністю стану зовнішнього середовища можуть використовуватися різні підходи. Для знаходження логістичного маршруту (рис. 1.3), який є оптимальним з урахуванням ймовірності різних сценаріїв застосовують методи оптимізації з урахуванням ризику [33].

В [34] автори пропонують метод розв'язання канонічної задачі транспортної логістики в умовах невизначеності і пропонують імовірнісну постановку транспортної задачі, де вартість перевезення є випадковою величиною з нормальним законом розподілу. У зв'язку з цим вводиться набір функцій щільності випадкових значень вартості перевезень, визначається

щільність розподілу випадкової величини сумарної вартості транспортування і задача полягає в знаходженні плану перевозок, який відповідає екстремальному значенню сумарної вартості транспортування при відповідних обмеженнях.

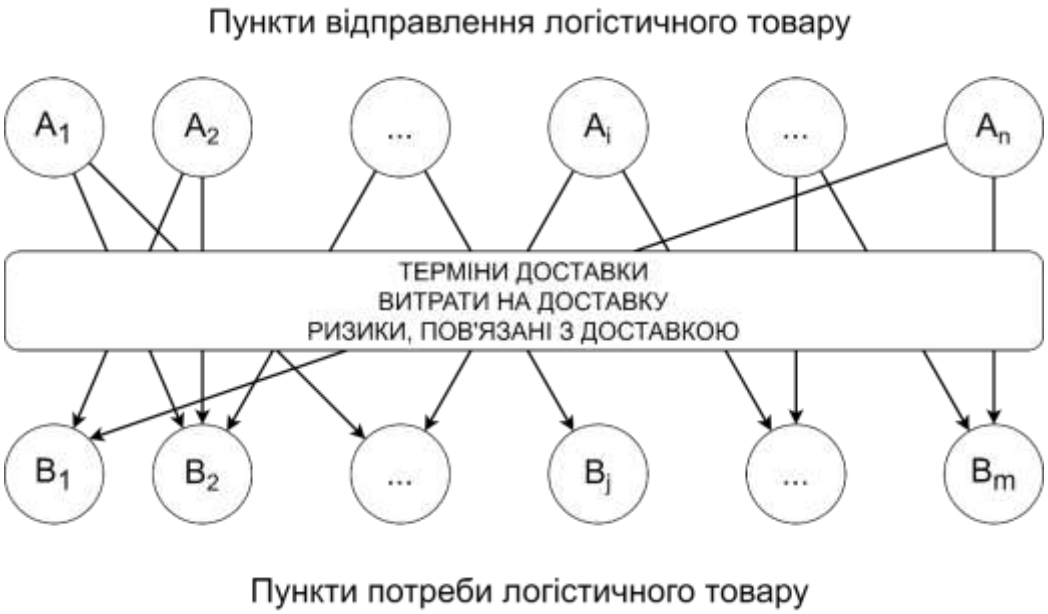


Рис. 1.3. Схематична модель системи перевезення логістичного товару з урахуванням ризику

Крім того, розглядають багатоіндексні транспортні задачі. Так в [35] розглядається трьох індексна задача, в якої для оптимізації транспортних перевезень за двома критеріями – транспортними витратами та часом доставки вантажу, вводять додаткові перевалочні склади, що враховується при розв’язку задачі.

В роботі [36] автори проводять аналіз методів розв’язку квадратичної задачі про призначення, а саме: метод розгалужень та границь; алгоритм мурашиної колонії; генетичні алгоритми; табу пошук. Всі ці методи є часовитратними і не знаходять найкращі розв’язки при зростанні розмірності задачі. Автори застосували метод Франка-Вульфа [37] до розв’язку даної задачі, що дозволило вирішувати задачі великої розмірності.

Аналіз робіт показав, що кожна окрема практична задача потребує побудови відповідної математичної моделі і в залежності від неї розробки

методу рішення. Під час моделювання та рішення задач логістики застосовують моделі нечіткої логіки [38], теорії масового обслуговування [39], мережі Петрі [40], генетичні алгоритми та нейронні мережі [41], жадібні алгоритми, метод Монте-Карло [42], мурашині алгоритми [43] та інші. Обчислювальна складність зростає із зростанням кількості вхідних даних.

1.1.2 Аналіз моделей та методів розв'язання задач транспортної логістики в умовах динамічних змін зовнішнього середовища

Важливість транспортних систем зростає під час різних криз, таких як пандемія Covid-19, війна в Україні та стихійні лиха, такі як землетрус у Туреччині, внаслідок чого відбуваються динамічні зміни зовнішнього середовища, які приводять до порушення транспортних систем. Постає задача налагодження транспортних систем, для забезпечення швидке пересування медичного персоналу, перевезення пацієнтів, доставку медичних товарів, доставку гуманітарної допомоги, безпечну евакуацію цивільних осіб із небезпечних зон у безпечні зони, доставку правоохоронних органів і груп із ліквідації наслідків стихійних лих у критичні місця. Швидке переміщення персоналу, матеріалів і ресурсів для надання допомоги постраждалому населенню є життєво важливим.

Війна в Україні вплинула на зміну класифікації сфер застосування логістики. Крім двох сфер, військової та комерційної, які описували різні логістичні дії і події, було виділено третя сфера – гуманітарна метою якої є задоволення істотних суспільних потреб [44], до яких відноситься надання гуманітарної допомоги в умовах надзвичайних ситуацій. Гуманітарна логістика має ряд особливостей, які відрізняють її від логістичних операцій у комерційних ланцюгах поставок, в наслідок наявності невизначеності у виборі маршрутів, попиту, запитів безпеки та інших проблем. Авторами було зазначено те, що під час прийняття рішень в кризових ситуаціях найбільш пріоритетними є швидкість надання гуманітарної допомоги та забезпечення постраждалих необхідним продуктом.

Для дослідження впливу триваючих порушень на поведінку дорожнього руху в Україні (мережа міждержавних автомобільних доріг і міста України: Київ, Харків , Львів , Дніпро , Одеса та Маріуполь) у перший місяць війни автори в [45] використали оцінку відображення початково-пункту і методологію визначення мережі для мереж міських доріг і однієї мережі автомагістралей у всій країні і побудували модель поведінки подорожей під час вторгнення в Україну.

В [46] проведено дослідження, яке зосереджувалося на плануванні екстреної евакуації в контексті стихійних лих, особливо в міських містах. Автори запропонували багатоцільову оптимізаційну модель для прийняття важливих рішень щодо маршрутів евакуації, аварійних укриттів і періодів часу для евакуації.

В [48, 49] запропонована система моделювання транспортних перевезень вантажів у військових підрозділах, яка дозволяє моделювати доставку вантажів у складних умовах. Автори використовували мережі Петрі [50] та генетичний алгоритм [51], для знаходження найкращого логістичного маршруту.

В [52] автори побудували концептуальну модель оперативного управління транспортною системою в умовах війни. Було виділено дві групи факторів які впливають на зміни в транспортній системі: внутрішні і зовнішні. До зовнішніх ознак було віднесено зміни організаційних умов перевезень, які виникають в наслідок небезпеки перевізників і цілісності вантажу. Було обрано критерії оцінки транспортної системи, які можуть змінюватись під час експлуатації системи та побудована модель, стан якої характеризується параметрами системи в період часу t. Стан зовнішнього середовища характеризується параметрами зовнішнього середовища в момент часу t. В якості факторів впливу на систему було виділено наступні порушення:

– в організаційної структурі;
– економічних зв’язків;

– екологічні;

– параметрів зовнішнього середовища;

– енергетичних потоків;

– військова небезпека.

Побудована авторами модель відображає процес управляння системою за цілями, функціями, ситуаціями. На основі цієї моделі схематична модель системи перевезення логістичного товару в умовах динамічних змін зовнішнього середовища може бути представлена наступним чином (рис. 1.4.). В наслідок того, що модель відображає процес управління системою за ситуаціями, можна зменшувати негативний вплив стану навколишнього середовища на систему перевезення логістичного товару за рахунок надання оперативної інформації щодо поточного стану зовнішнього середовища.

В задачах транспортної логістики, в наслідок динамічних змін зовнішнього середовища, збільшується кількість критеріїв, що робить неможливим застосування класичних методів оптимізації та їх модифікацій для розв'язання логістичних завдань. У цьому випадку маємо багатокритеріальні задачі для розв'язку яких використовують багатокритеріальні методи прийняття рішень (MCDM) [53-55], які дозволяють враховувати різні типи вхідних даних (кількісні, якісні, релейні (так, ні)) та отримати одне вихідне значення, за яким можна обрати найкраще рішення відповідно до цілі завдання [56].

При рішенні багатокритеріальних задач відома множина альтернатив $A=\{A_i\},\ i=\overline{1,m}$, і множина незалежних критеріїв $C=\{C_j\},\ j=\overline{1,n}$, для оцінки альтернативи, необхідно упорядкувати альтернативи $A_i,\ i=\overline{1,m}$, на основі розрахованих узагальнених критеріїв альтернативи за безліччю критеріїв C [57].

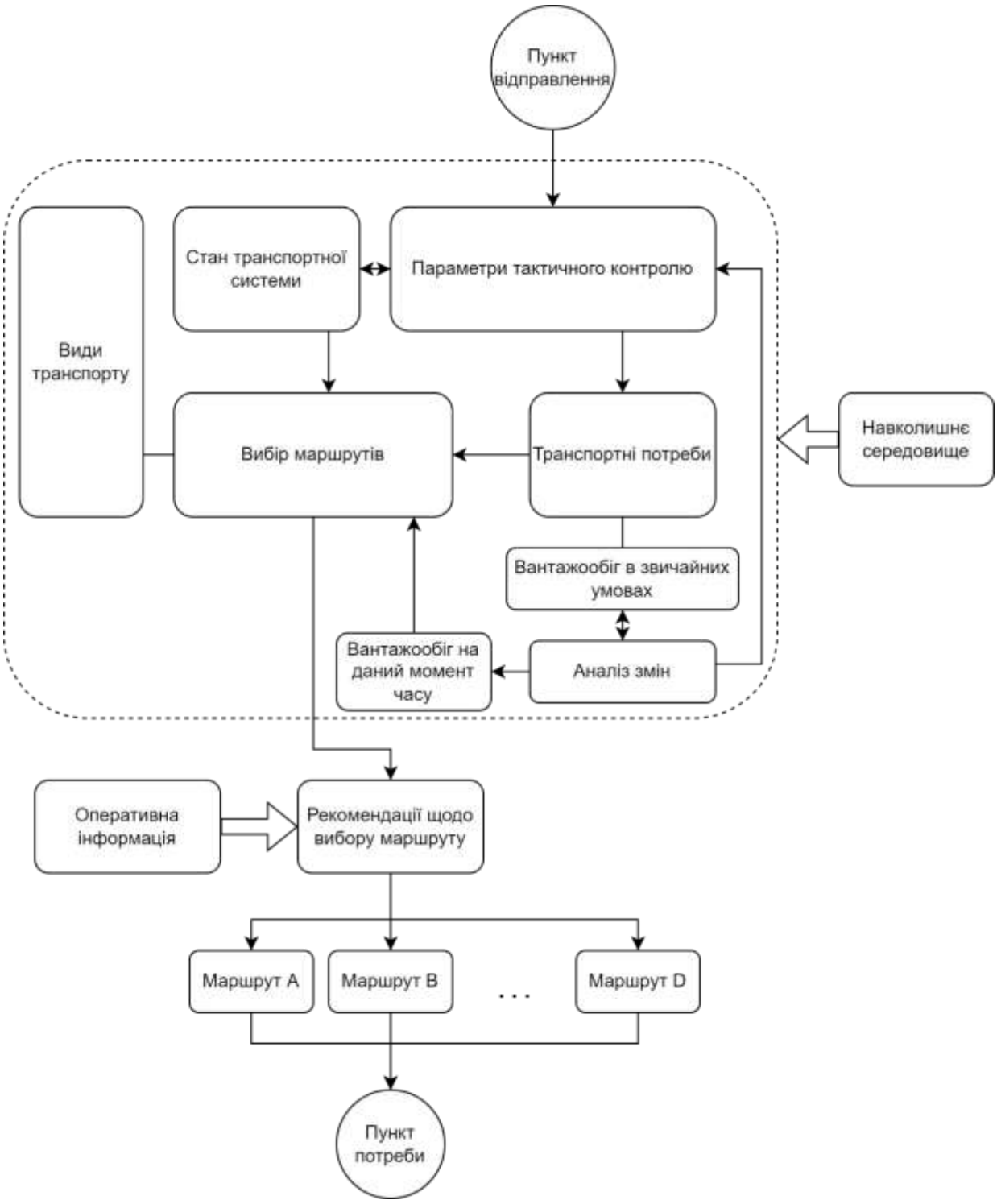


Рис. 1.4. Схематична модель системи перевезення логістичного товару в умовах динамічних змін зовнішнього середовища

Найбільш часто для рішення багатокритеріальних задач в транспортному секторі застосовується метод AHP (Analytic Hierarchy Process) [58-62], і різні його модифікації, наприклад MAHP (Multiplicative Analytic Hierarchy Process). Значна кількість задач вирішувалась за допомогою

сімейства методів ранжування ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Realite) [63, 64] та за допомогою методу TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) [65-68].

Для логістичних процесів, які є динамічними і представляються у вигляді мережі Петрі [69] автори будують багатокритеріальну модель прийняття рішень, проводять аналіз методів MCDM, серед яких виділяють методи AHP та SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique), який є простим і застосовується при рішенні задач в будівництві, транспорті та логістиці.

На базі методів MCDM будуються нові методи і моделі для розв'язку багатокритеріальних задач. В [70] автори будують модель для процесу постачання на основі наступних методів MCDM: метод PROMETHEE для ранжування альтернатив і метод AHP для обчислення ваг критеріїв. Авторами багатьох робот застосовують методи AHP і TOPSIS для рішення підзадач в багатокритеріальних задач: в [71] вирішується завдання вибору постачальника в кабельній компанії на основі методів AHP і TOPSIS, в [72] дані методи застосовуються для оцінки постачальників у циклі ланцюжка поставок, в [56] автори вирішують завдання транспортної логістики в надзвичайних ситуаціях. Для аналізу структури задачі вибору альтернатив і визначення вагових коефіцієнтів критеріїв автори [56] застосовують метод AHP, для отримання остаточного рішення було застосовано метод TOPSIS.

Таким чином, враховуючи особливості завдань оперативної транспортної логістики, які здійснюють волонтери, для подальшого аналізу було обрані наступні методи MCDM: AHP, MAHP, ELECTRE, TOPSIS, SMART. Аналіз обраних методів було проведено з точки зору:

- можливості обробки даних різних типів (кількісні, якісні, релейні («так»/«ні»), так як оцінки кожного з можливих маршрутів, за яким можуть проводитись перевезення логістичного об’єкту командою волонтерів, за відповідними критеріями можуть представлятись даними різних типів;

- мінімального часу введення даних (кількість матриць парних порівнянь), що знижує часовитрати волонтерів при використанні методів MCDM.

Результати аналізу надані в таблиці 1.1, де n – кількість характеристик можливих маршрутів транспортування логістичних об’єктів.

Таблиця 1.1. Порівняння методів MCDM

№ п/п	MCDM	Кількість матриць парних порівнянь	Тип даних
1	AHP	$1+n$	Кількісні, якісні, релейні
2	MAHP	$1+n$	Кількісні, якісні, релейні
3	TOPSIS	1	Кількісні
4	ELECTRE	2	Кількісні
5	SMART	1	Кількісні, якісні, релейні

Було встановлено що:

В методах AHP та MAHP будується $1+n$ матриць парних порівнянь, але ці методи дозволяють обробку даних змішаного типу і надають високу достовірність отриманих рішень.

Метод ELECTRE також дозволяє обробляти тільки кількісні данні, крім того, при побудові матриць згоди та незгоди виконується $n(n-1)$ порівнянь критеріїв.

Найкращими з точки зору мінімального часу введення даних (кількість матриць парних порівнянь) є методи TOPSIS та SMART, в яких будується лише одна матриця порівнянь. Але метод TOPSIS дозволяє обробляти тільки кількісні данні.

1.2 Аналіз систем підтримки прийняття рішень при виборі логістичних маршрутів

В методах MCDM альтернативи та критерії є відомими, але їх кількість може змінюватись в залежності від стану навколишнього

середовища, при цьому не виникає потреби в побудові нової математичної моделі і розробці нового методу рішення. Проте, збільшення критеріїв впливає на швидкість прийняття рішення щодо вибору найкращого маршруту. В умовах військових дій та/або надзвичайних ситуацій використання системи підтримки прийняття рішень (СППР) [73, 74], які базуються на методах MCDM, дозволяють особі яка приймає рішення (ОПР) вчасно отримувати інформацію про стан маршрутів і врахувати всі чинники і підвищить швидкість і достовірність отриманого рішення, щодо вибору найкращого маршруту [75].

Найбільш доступним засобом для передачі інформації на сьогодні є мобільні пристрої, які дозволяють передавати інформацію за допомогою мобільного зв'язку або підключення до мережі Internet. Але в умовах військових дій та/або надзвичайних ситуацій мобільний зв'язок або підключення до мережі Internet можуть бути тимчасово відсутніми. Тому, розробка мобільної СППР має спростити передачу оперативної інформації ОПР для прийняття рішення щодо обрання найкращого логістичного маршруту.

1.3 Висновки до першого розділу

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз задач транспортної логістики, які здійснюють волонтери, їх особливості в умовах обстановки, що динамічно змінюється та методів їх розв’язання. Головною задачею волонтерів при вирішенні завдання транспортної логістики є вибір найкращого маршруту для доставки ресурсів в потрібні пункти. При цьому важливо не тільки забезпечити мінімум витрат і мінімізувати час транспортної операції, але й забезпечити безпеку ресурсу і команди. Такі завдання транспортної логістики, що здійснюються волонтерами в умовах воєнного стану є багатокритеріальними, вони містять змішаний тип даних (кількісні, якісні, релейні) та характеризуються високою динамікою зміни

ситуації, тому для вирішення таких завдань застосовують методи багатокритеріального експертного оцінювання. Для задоволення вимог оперативності та достовірності при прийнятті рішень за таких умов необхідно забезпечити оперативність, інформативність, своєчасність та повноту інформації щодо стану умов транспортування як на всьому маршруті, так і на окремих його ділянках. Враховуючи особливості завдань оперативної транспортної логістики, які здійснюють волонтери, проаналізовано відомі багатокритеріальні методи експертного оцінювання: AHP, MAHP, TOPSIS, ELECTRE, SMART. Найкращими методами експертного оцінювання альтернативних рішень при наявності інформації змішаного типу виявились методи SMART та AHP. Були проаналізовані переваги та недоліки обох методів. Незважаючи на те, що метод AHP є прийнятим еталоном багатокритеріального експертного оцінювання, в даному дослідженні в якості базового був обраний метод SMART, перевагою якого є мінімальні часові витрати особи, що приймає рішення. Основним недоліком даного методу є неврахування різних напрямів оптимізації критеріїв при наявності інформації змішаного типу. Тобто виникає актуальне науково-практичне завдання підвищення оперативності прийняття рішень при збереженні достовірності прийнятих рішень шляхом розробки моделей отримання інформації і методів для підтримки рішень волонтерів при вирішенні завдань транспортної логістики, які дозволяють обробляти дані змішаного типу та враховують різні напрями оптимізації критеріїв.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ СТАНУ МАРШРУТУ ТА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ КОЛЕКТИВНОЇ ОЦІНКИ ПОТОЧНОГО СТАНУ МАРШРУТУ

В умовах динамічних змін стану маршрутів транспортування необхідне швидке реагування на ці зміни. Для врахування динамічних змін необхідно забезпечити оперативну передачу та отримання інформації о ситуаціях на маршрутах. Час отримання актуальної інформації про поточний стан маршруту впливає на достовірність та оперативність прийняття рішень.

Прийняття рішень командою волонтерів в задачі транспортної логістики під час воєнного часу, тобто в умовах динамічних змін зовнішнього середовища має наступні особливості [76]:

– більшість рішень приймається в ситуаціях, які раніше не зустрічалися;

– вибір варіантів рішень відбувається в умовах неповної та невизначеної інформації про поточну ситуацію;

– рішення, приймаються в умовах жорсткого обмеження в часі та постійної зміни інформації.

Тому виникає потреба в побудові моделі модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації, яка забезпечить надання актуальної оцінки станів умов транспортування [77]. При цьому необхідно врахувати обмеженість людських ресурсів команди волонтерів (КВ), а також складність долучення професійних експертів для оперативної оцінки умов транспортування, які динамічно змінюються. Залучення експертів-професіоналів є практично неможливим з декількох причин, таких як: доступність, витрати, час, тому пропонується застосовувати концепцію експертів-інсайдерів [78].

Залучення до процесу прийняття рішення непрофесійних експертів, які є членами КВ, які певний час спостерігають за зміною зовнішнього

середовища і можуть достатньо точно оцінити його стан є ефективним рішенням для отримання експертних оцінок щодо станів зовнішнього середовища. Використання інформаційних технологій є дієвою підтримкою [79] непрофесійних експертів під час збору та передачі актуальної інформації щодо стану маршрутів і дозволяє врахувати всі чинники і підвищити оперативність прийняття рішення.

2.1 Розробка концептуальної моделі оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації

На підставі зазначеного пропонується концептуальна модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації, яка враховує особливості отримання актуальної оцінки станів умов транспортування, що динамічно змінюються внаслідок надзвичайних ситуацій та враховує обмеженість людських ресурсів команди волонтерів і непрофесійність її учасників.

Особою, яка приймає рішення (ОПР) щодо вибору найкращого з m існуючих маршрутів різної довжини L_i, $i=\overline{1,m}$ для доставки логістичного об'єкту в умовах динамічних змін зовнішнього середовища з пункту відправлення R_0 у пункт постачання вантажу R_E. Для отримання надійної та актуальної інформації про поточний стан кожного з m маршрутів, кожен із цих маршрутів розбивається на n_i ділянок довжини L_{ij} ($\sum_{j=1}^{n_i} L_{ij} = L_i$, $i=\overline{1,m}$) за якими закріплюються відповідні волонтери-спостерігачі $VTM_{L_{i_j}}$ ($i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n_i}$). Волонтери-спостерігачі виступають в ролі експертів-інсайдерів, так як вони безпосередньо знаходяться на відповідних ділянках маршруту і володіють актуальною інформацією щодо їх поточного стану, тому вони є основними постачальниками інформації про стан ділянок маршрутів.

На рисунку 2.1 представлена концептуальна модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації. Особливістю цієї моделі є те що вона передбачає оцінку станів C_i певного маршрута A_i, що містить визначену низку K показників, що описують стан кожної j-ої ділянки певного маршруту A_i - C_{ij}^k безпосередньо від експертів-волонтерів, які знаходяться на відповідних ділянках маршрутів. Для отримання агрегованої оцінки стану кожного маршруту C_i в подальшому враховуються оцінки експертів-волонтерів для низки показників $C_i = \{C_i^k\}$ $(k = \overline{1, K})$, де $C_i^k = \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij}^k$.

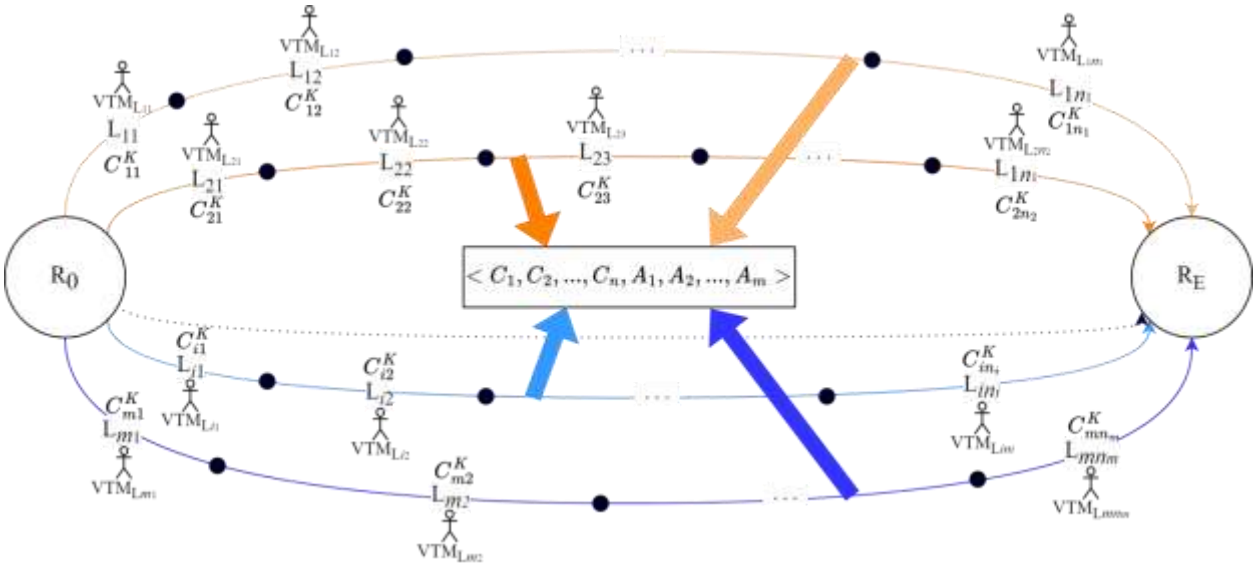


Рис. 1. Концептуальна модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації

Вибір та прийняття рішення щодо визначення найкращого маршруту для доставки логістичного об’єкту ОПР виконує на основі всіх оцінок станів відповідних маршрутів, які надходять до нього від експертів-волонтерів.

Для врахування особливостей передачі інформації від експертів-волонтерів до координатора команди волонтерів на основі даної моделі на рисунку 2.2 показано схема передачі інформації під час прийняття рішення щодо найкращого логістичного маршруту між членами команди волонтерів.

Члени КА в залежності від розташування виконують відповідні завдання. Завданнями які постають перед ОПР під час визначення найкращого маршруту для доставки логістичного об’єкту в умовах динамічних змін зовнішнього середовища є:

1. Визначення цілі та умов проведення логістичної операції.

2. Формування множини альтернатив.

3. Формування множини критеріїв на основі інформації, отриманої від експертів-волонтерів.

3. Прийняття рішення про вибір найкращого маршруту.

4. Видача рішення КВ.

5. Здійснення контролю щодо виконання логістичного завдання.

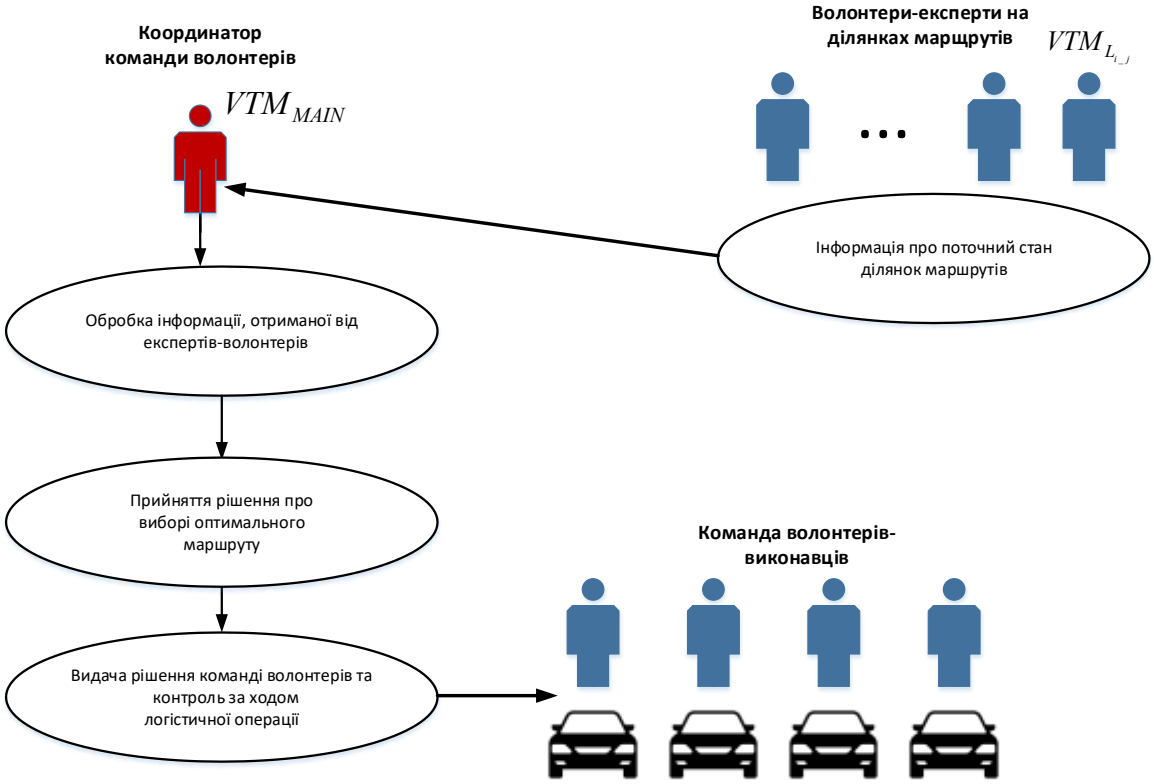


Рис. 2.2. Передача інформації під час оперативного вибору найкращого логістичного маршруту

Завданнями члену/членів КВ - VTM_0, який знаходиться у пункті відправлення логістичного об’єкту R_0 є:

1. Визначення максимального часу доставки ресурсу з урахуванням його особливостей.

2. Визначення цінності ресурсу.

3. Перевірка умови достатності ресурсу для задоволення потреб у ресурсі.

4. Вибір транспортних засобів для доставки ресурсу та їх середньої швидкості руху V_0 за відсутності перешкод руху.

Основним завданням члену/членів КВ - VTM_E, який знаходиться у пункт потреби у цьому ресурсі R_E є оперативна оцінка потреб у ресурсі за їх динамічних змін.

Волонтери – виконавці виконують доставку логістичного об’єкту з пункту відправлення у пункт постачання відповідно рішення щодо вибору найкращого маршруту прийнятого VTM_{MAIN}.

Запропонована концептуальна модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики у теоретично-множинному поданні [80] виглядає так:

$$\text{КМ} = < C_1, C_2, ..., C_n, A_1, A_2, ..., A_m > \qquad (2.1)$$

2.2 Розробка методу формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами

Відповідно до розробленої концептуальної моделі оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації командир команди волонтерів отримує від експертів-волонтерів у вигляді оцінок станів ділянок відповідних можливих маршрутів C_{ij}^k за низкою K показників ($i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n_i}$, $k = \overline{1,K}$), з урахуванням яких в подальшому приймає рішення щодо вибору найкращого з можливих

маршрутів $A=\{A_i\}$. Тому для врахування оцінки стану кожного можливого маршруту в цілому необхідно надати правило для агрегації оцінок, отриманих від експертів-волонтерів.

Крім класичних критеріїв вибору НМ (час та витрати) в умовах динамічних змін стану зовнішнього середовища визначається множина n показників $C=\{C_1, C_2, ..., C_n\}$, за допомогою яких можна достовірно оцінити стан можливих m маршрутів ($A=\{A_1, A_2, ..., A_m\}$). Таким чином, завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації є багатокритеріальною. Для вибору найкращого з можливих логістичних маршрутів застосовуються багатокритеріальні методи експертного оцінювання [81].

Згідно запропонованої в роботі концептуальної моделі оцінки стану маршруту A_i (рис. 2.1.) при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації експерти-волонтери виконують оцінку n_2 - их показників. Проте оцінку n_1 - их показників виконує ОПР (VTM_{MAIN}), тоді множина показників буде представлятись як сума двох множин показників: $C=C_{MAIN}+C_i$, де $C_{MAIN}=\{C_{MAIN}^{k_{MAIN}}\}$, $k_{MAIN}=\overline{1,n_1}$ - множина показників, оцінку яких виконує VTM_{MAIN} та $C_i=\{C_i^k\}$, де $C_i^k=\sum_{j=1}^{n_{2i}} C_{ij}^k$ $(k=\overline{1,K})$ - множини показників, оцінку яких виконують експерти-волонтери ($VTM_{L_{i_j}}$, $i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n_{2i}}$).

Таким чином, оцінки альтернативного рішення A_i з множини рішень $A=\{A_i\}$, $i=\overline{1,m}$ за показниками k $(k=\overline{1,K})$ $C_i=\{C_i^k\}$ ($C_i^k=\sum_{j=1}^{n_{2i}} C_{ij}^k$), $\varphi_{A_i_n_{2i}}(C_i^k)$, надані експертами-волонтерами можно представити в загальному вигляді наступним чином (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Оцінки експертів-волонтерів

Критерії	C_i^1	C_i^2	...	$C_i^{n_2}$
A_i -та альтернатива ($i=\overline{1,m}$)				
$VTM_{L_{i_1}}$	$\varphi_{A_{i_1}}(C_i^1)$	$\varphi_{A_{i_1}}(C_i^2)$	...	$\varphi_{A_{i_1}}(C_i^{n_2})$
$VTM_{L_{i_2}}$	$\varphi_{A_{i_2}}(C_i^1)$	$\varphi_{A_{i_2}}(C_i^2)$	...	$\varphi_{A_{i_2}}(C_i^{n_2})$
…	...	...	...	...
$VTM_{L_{i_n2_i}}$	$\varphi_{A_{i_n2i}}(C_i^1)$	$\varphi_{A_{i_n2i}}(C_i^2)$	...	$\varphi_{A_{i_n2i}}(C_i^{n_2})$

Для виявлення додаткових показників для вирішення завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації було проведено опитування координаторів команди волонтерів (див. Додаток Б) в результаті якого було виявлено одинадцять показників, але було враховано принцип Міллера [82, 83], згідно якого, люди зазвичай здатні усвідомлювати і утримувати в робочій пам'яті 7 ± 2 об’єктів. Тому було обрано вісім показників, за якими експерти-волонтери оцінюють стан маршрутів. Обрані показники представляються різними типами даних (кількісні, якісні, релейні («так»/«ні»)) [84, 85]:

– середня швидкість руху по ділянці маршруту час доставки ресурсу (критерій C_1 - кількісний тип даних);

– якість дорожнього покриття (критерій C_2 - якісний тип даних);

– наявність пунктів заправки автотранспорту пальним (показник C_3- релейний тип даних);

– наявність пунктів ремонту автотранспорту (показник C_4 - релейний тип даних);

– наявність стійкого зв'язку (показник C_5 - релейний тип даних);

– наявність укриттів та захисних споруд (показник C_6 - релейний тип даних);

– наявність медичних установ та засобів швидкої медичної допомоги (показник C_7 - релейний тип даних);

– наявність регулярних загроз доступності маршруту (показник C_8 - релейний тип даних).

Експертами (координатори команди волонтерів) кожному з критеріїв було призначені ваги W_k, $k = \overline{1,8}$. Після усереднення призначених експертами ваг, отримано наступний вектор оцінок ваг критеріїв [86]: $W = \left[\frac{2}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}, \frac{2}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{16}, \frac{1}{16}\right]$. На основі ваг критеріїв визначено ймовірність вкладу кожного критерію в загальну інформацію про стан ділянки маршруту:

$$p_k = \frac{W_k}{\sum_{k=1}^{8} W_k}. \tag{2.2}$$

При цьому передбачається, що всі вісім показників визначають повну систему подій [87], тобто

$$\sum_{k=1}^{8} p_k = 1. \tag{2.3}$$

Для оцінки інформації, яку вносить кожен критерій запропоновано використовувати інформаційну ентропію Шеннона [88, 89]:

$$E_k = -p_k \log_2 p_k, \ (k = \overline{1,8}). \tag{2.4}$$

Припускаючи, що кожен показник вносить адитивний вклад в інформаційну ентропію загальна інформаційна ентропія розраховується наступним чином:

$$E = \sum_{k=1}^{8} E_k. \tag{2.5}$$

За (2.5) було розраховано загальна інформаційна ентропія для кожного критерію. Отримали, що з ростом кількості показників для оцінки поточного стану маршруту відбувається зріст інформативності оцінки (рис. 2.3).

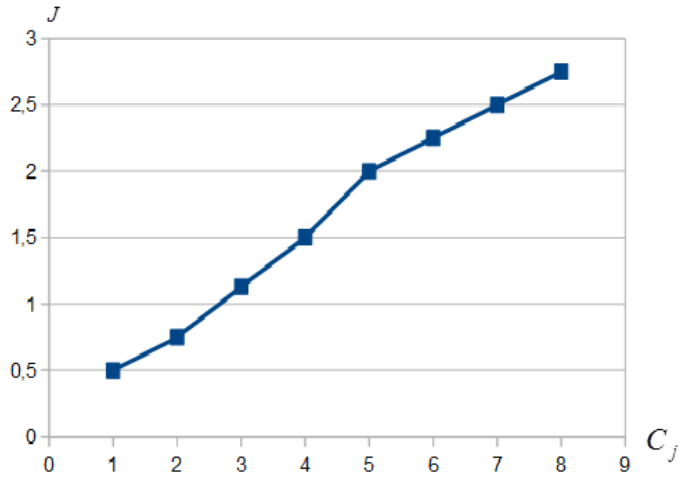


Рис. 2.3. Залежність інформативності оцінки поточного стану маршруту від кількості критеріїв

Оскільки оцінки показників C_{ij}^{k} $(k=\overline{1,8},\ i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n})$ надають експерти-волонтери і дані оцінки представляються різними типами даних, запропоновано для агрегації експертних оцінок наданих експертами-волонтерами враховувати типи даних:

- у разі кількісної оцінки обчислюється середня оцінка кожного показника певного маршруту, враховуючи оцінку кожної ділянки маршруту:

$$C_{iagr}^{k}=\sum_{j=1}^{m}\frac{C_{ij}^{k}}{m}\,(k=\overline{1,8},i=\overline{1,m});. \qquad (2.6)$$

- у разі якісної оцінки - оцінкам призначаються ранги [90] R_j^k (табл. 2.2):

Таблиця 2.2. Призначення рангів якісним оцінкам критеріїв

Якісна оцінка	Ранг
дуже погано	1
погано	2
задовільно	3
добре	4
відмінно	5

Далі розраховується середній ранг $\overline{R_{ij}} = \sum_{j=1}^{m} \frac{R_j^k}{m}$ з подальшим знаходженням його цілої частини у бік зменшення $\hat{C}_{iagr}^k = \left[\frac{\overline{R_{ij}}}{m} \right]$. C_{iagr}^k (табл. 2.2);

- у разі релейної оцінки агрегація відбувається за правилом:

$$\begin{cases} C_{iagr}^k = 1, \text{якщо більш, ніж 2/3 експертів - волонтерів надали оцінку "так"} \\ C_{iagr}^k = 0, \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (2.7)$$

Таким чином, експертна оцінка відповідних критеріїв для всього маршруту проводиться на основі оцінок ділянок маршруту, на які розбито маршрут, отриманих від експертів-волонтерів $C_i = \left\lfloor C_{iagr}^1, C_{iagr}^2, C_{iagr}^3, C_{iagr}^4, C_{iagr}^5, C_{iagr}^6, C_{iagr}^7, C_{iagr}^8 \right\rfloor$ $(i = \overline{1,n})$. Отриманий вектор показників далі використовується в якості значень критеріїв для багатокритеріального експертного оцінювання альтернативних рішень, щодо вибору можливих маршрутів для особи, яка приймає рішення.

Модель вибору найкращого рішення (best solution, BS) командою волонтерів в умовах динамічних змін зовнішнього середовища у теоретично-множинному поданні з врахуванням запропонованого методу формування колективної оцінки поточного стану маршруту приймає вигляд:

$$\text{BS} = < A, C_{MAIN}, C_i, M, f >, \quad (2.8)$$

де M – багатокритеріальний метод експертного оцінювання;

f – функція порівняння оцінок рішень.

2.3 Дослідження розробленої концептуальної моделі оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації шляхом моделювання

Для експериментального дослідження запропонованої концептуальної моделі підтримки прийняття рішень команди волонтерів поставлено та

вирішено задачу транспортної логістики, а саме доставка деякого ресурсу командою волонтерів з пункту відправлення до пункту постачання з врахуванням запропонованої концептуальної моделі підтримки прийняття рішення.

З пункту відправлення R_0, в якому знаходяться член або члени команди волонтерів VTM_0, до пункт з врахуванням у постачання вантажу R_E. Обрано 5 можливих маршрутів, A_i, $i = \overline{1,5}$ (рис. 2.4).

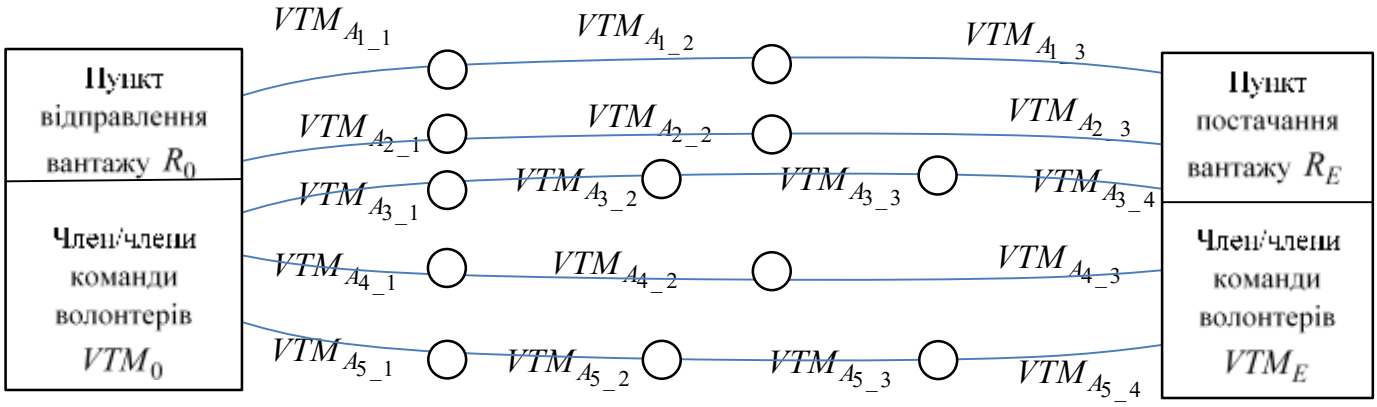


Рис. 2.4. Приклад прийняття рішення командою волонтерів завдання транспортної логістики щодо вибору найкращого з п’яти існуючих маршрутів

В пункті постачання вантажу знаходяться член або члени команди волонтерів VTM_E. Кожний маршрут має різну довжину L_i, $i = \overline{1,5}$ і розбитий на n ділянок довжини L_{ij} так, що $\sum_{j=1}^{n} L_{ij} = L_i$, $i = \overline{1,5}$. Так, 1-й, 2-й та 4-й маршрути розбиті на 3 ділянки, 3-й та 5-й маршрути розбиті на 4 ділянки.

На відповідних ділянках маршрутів знаходяться волонтери-спостерігачі ($VTM_{A_{i_j}}, i = \overline{1,5}, j = \overline{1,n}$, де $n = \begin{cases} 3, \text{для } 1,2,4 \text{ маршрутів} \\ 4, \text{для } 3,5 \text{ маршрутів} \end{cases}$).

В якості критеріїв обрано показники, які було виявлено раніше на основі опитування п’яти координаторів команди волонтерів

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$. Експерти-волонтери, які знаходяться безпосередньо на ділянках відповідних маршрутів ($VTM_{A_{i_j}}$) володіють оперативною інформацією щодо обраних критеріїв $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$ і надають оцінки за цими критеріями координатору команди волонтерів.

Оцінки критеріїв від експертів-волонтерів на різних ділянках для відповідних маршрутів приведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Оцінка маршрутів експертами-волонтерами

Критерії	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
1-й маршрут								
VTM_{A1_1}	60	добре	ні	так	так	так	так	ні
VTM_{A1_2}	90	добре	ні	так	так	ні	ні	так
VTM_{A1_3}	80	добре	ні	так	так	так	так	так
2-й маршрут								
VTM_{A2_1}	90	добре	так	так	так	так	так	ні
VTM_{A2_2}	70	задовільно	так	так	так	ні	ні	ні
VTM_{A2_3}	70	задовільно	так	так	так	так	так	так
3-й маршрут								
VTM_{A3_1}	90	добре	ні	ні	так	так	так	ні
VTM_{A3_2}	70	задовільно	ні	ні	так	так	так	ні
VTM_{A3_3}	70	задовільно	ні	ні	ні	ні	ні	так
VTM_{A3_4}	70	задовільно	ні	ні	так	так	так	так
4-й маршрут								
VTM_{A4_1}	90	добре	так	так	так	так	так	ні
VTM_{A4_2}	90	задовільно	так	так	так	ні	ні	ні

VTM_{A4_3}	70	задовільно	так	так	ні	так	так	ні
5-й маршрут								
VTM_{A5_1}	90	добре	ні	ні	так	так	так	ні
VTM_{A5_2}	90	добре	ні	ні	так	ні	так	ні
VTM_{A5_3}	70	добре	ні	ні	так	ні	ні	так
VTM_{A5_4}	60	добре	ні	ні	ні	так	так	так

Запропонований метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту застосовано для розрахунку агрегованої експертної оцінки відповідних критеріїв для всього i-го маршруту ($i = \overline{1,5}$) маршруту.

В таблиці 2.4 представлено оцінки альтернативних рішень A_i, $i = \overline{1,5}$ за критеріями C_j, $j = \overline{1,6}$ різними типами даних для розглядаємої задачі.

Таблиця 2.4. Колективні оцінки альтернативних маршрутів

Альтернативи	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
A_1	77	4	0	1	1	1	1	1
A_2	77	3	1	1	1	1	1	0
A_3	75	3	0	0	1	1	1	0
A_4	83	3	1	1	1	1	1	0
A_5	78	4	0	0	1	0	1	0

Так як оцінки альтернатив надавались експертами-волонтерами, які є членами команди волонтерів але не є професійними експертами, то необхідно встановити середню ступінь узгодженості думок усіх експертів. Розраховано коефіцієнт конкордації [91] для випадку, коли є пов'язані ранги (однакові значення рангів в оцінках одного експерта).

$$W = \frac{12\sum_{i=1}^{n}(S_i - S_{CC})^2}{m^2(n^m - n) - m\sum_{i=1}^{m}T_i}, \qquad (2.9)$$

де m - кількість експертів;

n - кількість параметрів, які оцінюються;

S_i - сума рангів, які були надані рішенню P_i усіма експертами.

Середньоарифметична сума рангів, розраховується за формулою:

$$S_{CC} = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_j}{n}, \tag{2.10}$$

де $S_j = \sum_{i=1}^{m} R_{ij}$, R_{ij} - ранг, який присвоєно цьому рішенню i експертом.

Показник, пов'язаних (рівних) рангів, призначених i експертом, розраховується за формулою:

$$T_i = \sum_{i=1}^{m} (T_i^m - T_i). \tag{2.11}$$

Для визначення значущості коефіцієнта конкордації обчислено значення критерію χ^2 (Пірсона) [92] із числом ступенів свободи $n-1$,

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} mn(n+1) - \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^{m} T_i}. \tag{2.12}$$

Отримано наступні значення коефіцієнтів конкордації для щодо оцінки ступеня узгодженості думок експертів-волонтерів під час оцінки можливих i -их маршрутів ($i = \overline{1,5}$) (див. табл. 2.5.).

Таблиця 2.5. Значення коефіцієнтів конкордації

Маршрути	W	χ_r^2	$\chi_t^2, \alpha = 0{,}05$, $k = 8 - 1 = 7$
A_1	0,86	18,04	14,06714
A_2	0,84	17,61	14,06714
A_3	0,85	23,71	14,06714
A_4	0,86	18,04	14,06714
A_5	0,8	22,36	14,06714

Отримані значення коефіцієнту конкордації (див. табл. 2.5) при оцінці маршрутів говорять про наявність високого рівня узгодженості думок експертів. Знайдені оцінки значущості отриманих коефіцієнтів конкордації χ^2 при заданому рівні значущості $\alpha = 0{,}05$ для числа степеней свободи $k = n - 1 = 7$ (див. табл. 2.5). Так як розрахункові значення χ_r^2 більше ніж табличне значення χ_t^2 (див. табл. 2.5), встановлено, що значення коефіцієнту конкордації є не випадковим і свідчить про наявність високого рівня узгодженості думок експертів, тому отримані результати мають сенс і можуть використовуватися в подальших дослідженнях.

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі дисертаційної роботи досліджено шляхи підвищення оперативності та інформативності оцінки станів маршрутів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики.

Для підвищення оперативності та достовірності поточної оцінки стану маршрутів запропоновано концептуальну модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації. Відповідно до запропонованої моделі, оцінка поточного стану логістичного маршруту в умовах динамічних змін ситуацій на маршрутах складається з оцінок ділянок маршруту за якими закріплені відповідні волонтери спостерігачі, які виступають в ролі експертів-інсайдерів.

Сформульовано перший пункт наукової новизни: вперше запропоновано концептуальну модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації, яка відрізняється від існуючих тим, що враховує динамічні зміни стану зовнішнього середовища у вигляді експертних оцінок щодо поточного стану відповідної ділянки маршруту, отриманих від членів команди волонтерів, які

закріплені за відповідними ділянками маршруту, що дозволило розподілити функції між членами команди, підвищити оперативність та достовірність поточної оцінки стану маршрутів.

Для формування оцінки маршруту в цілому удосконалено метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами в умовах динамічної зміни обстановки. Відповідно до розробленого методу, експертна оцінка відповідних критеріїв для всього маршруту надається на основі оцінок ділянок маршруту отриманих від експертів-волонтерів за правилом агрегування експертних оцінок цих показників в залежності від типу показника (кількісні, якісні, релейні).

Сформульовано другий пункт наукової новизни: Удосконалено метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами в умовах динамічної зміни обстановки, який, на відміну від існуючих, представлений вектором показників стану маршруту різного типу (кількісні, якісні, релейні), та правилом агрегування експертних оцінок цих показників по всіх n ділянках маршруту, що дозволило підвищити інформативність оцінки поточного стану можливих маршрутів для наступного вибору найкращого з них.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ КОМАНДОЮ ВОЛОНТЕРІВ

Згідно до запропонованої в роботі концептуальної моделі оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації для оперативної оцінки стану зовнішнього середовища долучаються всі члени команди волонтерів, які володіють актуальною інформацією щодо станів маршрутів. Кожен маршрут розбивається на ділянки за кожній з яких закріплюється відповідний експерт-волонтер, який володіє актуальною інформацією щодо стану відповідної ділянки маршруту. Колективна оцінка поточного стану маршруту розраховується відповідно до удосконаленого в роботі методу формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами в умовах динамічної зміни обстановки. Інформація з оцінками стану ділянок маршрутів передається координатору команди волонтерів, який і приймає рішення щодо вибору найкращого логістичного маршруту. Як було показано раніше, задача знаходження найкращого маршруту в умовах динамічних змін умов транспортування є багатокритеріальною. Тому для рішення даної задачі ОПР мають бути застосовані багатокритеріальні методи експертного оцінювання, які при вирішення логістичних задач в умовах військових дій дозволяють враховувати різні критерії та напрями їх оптимізації, мають невелику обчислювальну складність, підтримують колективне прийняття рішень та дозволяють обробляти дані різних типів. В главі 1 було проаналізовано відомі методи багатокритеріального експертного оцінювання з точки зору можливості обробки даних різних типів та часових витрат особи, яка приймає рішення. Для встановлення часових витрат особи, яка приймає рішення було підраховано кількість матриць парних порівнянь, які заповнює ОПР при застосуванні методів багатокритеріального експертного оцінювання, які було досліджено. Було встановлено, що методи SMART і TOPSIS є найкращими з

точки зору часових витрат ОПР (будується одна матриця порівнянь), але метод TOPSIS не дозволяє обробляти якісні та релейні дані.

Метод багатокритеріального експертного оцінювання SMART [93] включає наступні етапи: впорядкування критеріїв за важливістю; присвоєння критеріям ваги, виходячи з того, що вага найбільш важливого критерію має значення 100; нормування ваг критеріїв; призначення значень для кожної альтернативи за всіма критеріями відповідно до шкали від 0 до 100; визначення загальної оцінки кожної альтернативи; встановлення найкращої альтернативи якій відповідає найбільша загальна оцінка; проведення оцінку чутливості результату до змін ваг. Метод SMART є простим і широко використовується для прийняття рішень в багатьох сферах, де потрібно враховувати багато критеріїв. Але незважаючи на переваги методу SMART існує ряд недоліків, які впливають на оперативність і достовірність експертного оцінювання, а саме: суб'єктивність ОПР при призначенні оцінок критеріїв; суб'єктивність і витрати часу ОПР при оцінці кожної альтернативи за критеріями; відсутність можливості врахувати різні напрями оптимізації критеріїв при наявності інформації змішаного типу (максимізація / мінімізація).

Зазначені проблеми було вирішено в роботі, шляхом удосконалення методу багатокритеріального експертного оцінювання SMART.

3.1 Удосконалення методу багатокритеріального експертного оцінювання SMART

Основна ідея удосконаленого метода полягає в тому, щоб в якості вхідних даних використовувати матрицю рішень [94], елементами якої є оцінки альтернатив за критеріями, причому дані оцінки можуть бути представлені різними типами даних (кількісні, якісні, релейні). Крім того метод дозволяє враховувати різні напрями оптимізації критеріїв (максимізація або мінімізація) при нормуванні елементів матриці рішень. В

якості критеріїв y_j по кожному маршруту виступають як оцінки C_{iagr}^{k}, так і оцінки прийняті особою, яка приймає рішення.

Удосконалений метод mSmart реалізовано наступними кроками:

Крок 1. Впорядкування критеріїв y_j за важливістю.

Крок 2. Вибір напряму багатокритеріальної оптимізації – (максимізація/ мінімізація).

Крок 3. Призначення ваг кожному критерію y_j, $j=\overline{1,n}$, виходячи з того, що найбільш важливий з них оцінюється в 100 балів.

Крок 4. Нормування ваг критеріїв: $\omega_j = \frac{y_j}{\sum_{j=1}^{n} y_j}$, $j=\overline{1,n}$.

Крок 5. Формування матриці рішень X розміру $m \times n$, рядки якої відповідають можливим рішенням щодо вибору маршруту A_i, $i=\overline{1,m}$, стовпці – критеріям y_j, $j=\overline{1,n}$.

Крок 6. Нормування кількісних елементів матриці рішень в залежності від напряму багатокритеріальної оптимізації: у разі максимізації застосовується співвідношення (3.1), у разі мінімізації (3.2):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \quad (3.1), \qquad r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \quad (3.2),$$

де r_{ij} - елемент нормованої матриці рішень R.

Крок 7. Нормування якісних оцінок відбувається з використанням шкали Харінгтона (табл. 3.1).

Крок 8. Нормування оцінок, що є релейними, відбувається з використанням оцінок експертного оцінювання (табл. 3.2).

Крок 9. Загальна оцінка кожної альтернативи, щодо вибору маршруту здійснюється за співвідношенням:

$$V_i = r_{ij}\omega_j,\ i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n},$$

де r_{ij} - елемент нормованої матриці рішень R.

Крок 10. Ранжування цих рішень щодо вибору маршрутів згідно з V_i.

Таблиця 3.1 − Шкала для вимірювання якісних оцінок

Якісна оцінка	Шкала Е. Харінгтона
дуже погано	0 - 0,19
погано	0,2 - 0,36
задовільно	0,37 - 0,62
добре	0,63 - 0,79
відмінно	0,8 - 1

Таблиця 3.2 − Шкала для вимірювання оцінок, що є релейними

Оцінка	Числова оцінка
так (бажана)	0,67
ні (не бажана)	0,33
так (не бажана)	0,33
ні (бажана)	0,67

Крок 11. Впорядкування альтернатив відповідно до загальної оцінки кожної альтернативи. Найкращої альтернативі відповідає найбільше значення загальної оцінки альтернативи.

Таким чином, введені в методі mSmart кроки дозволили: врахувати напрям оптимізації критеріїв (крок 3), проводити нормування якісних та релейних оцінок. Введені кроки 3, 5-7 дозволили знизити навантаження щодо формування матриці рішень на ОПР, що знижає часові витрати ОПР та сприятиме підвищенню оперативності багатокритеріального експертного оцінювання.

3.2 Дослідження запропонованого методу mSmart шляхом моделювання

Для дослідження запропонованого методу mSmart було проведено моделювання задачі доставки ресурсу з м. Одеси до м. Херсону і для вибору НМ було застосовано запропонований метод mSmart і метод AHP, який на сьогоднішній день є прийнятим еталоном багатокритеріального експертного оцінювання щодо достовірності.

Було обрано чотири маршрути (див. рис. 3.1). Кожен маршрут розбито на ділянки за якими закріплено експерт-волонтер. Так, перший (довжина 231 км) та другий (довжина 232 км) маршрути розбито на 13 ділянок, третій (довжина 201 км) та четвертий (довжина 297 км) на 12 ділянок. На рисунку 5 показані вікна, які відображають перше вікно користувацького інтерфейсу мобільного додатку трьох експертів-волонтерів з внесеними даними щодо стану відповідної ділянки першого маршруту: якості дорожнього покриття, наявності небезпеки, можливості заправки та ремонту техніки.

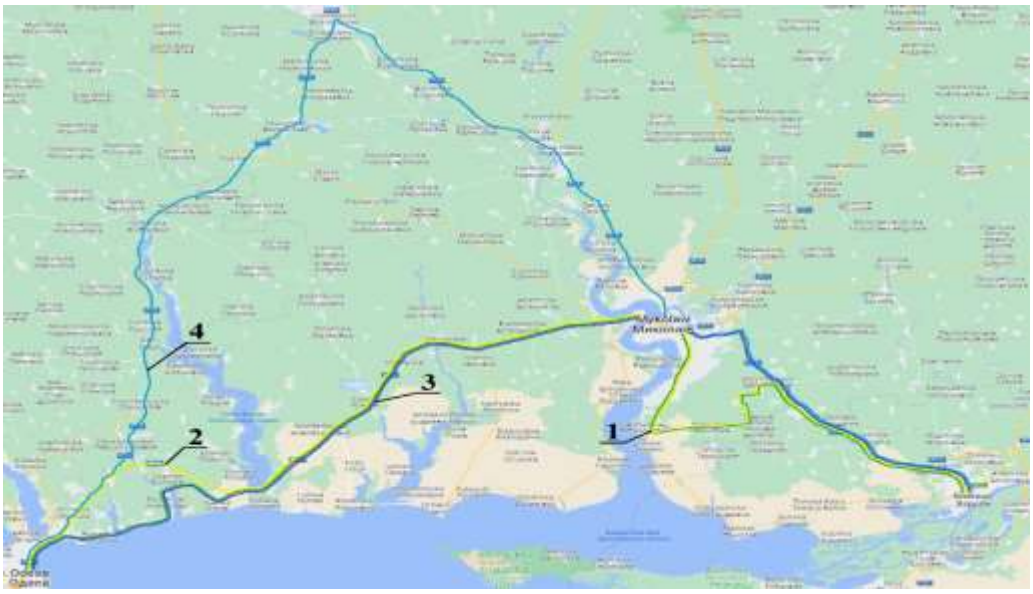


Рис. 3.1. Логістичні маршрути з Одеси до Херсону [97]

Для вибору відповідного маршруту було обрано наступні критерії, які представляються різними типами даних:

- Відстань між точками відправки до точки потреби ресурсу (критерій C_1) - кількісний тип даних.

- Середній час доставки ресурсу (критерій C_2).

- Якість дорожнього покриття (критерій C_3).

- Наявність небезпеки (критерій C_4).

- Можливість дозаправки (критерій C_5).

- Можливість ремонту техніки (критерій C_6).

В таблиці 3.3, представлено зведені дані за критеріями отриманими від волонтерів-експертів та координатора команди волонтерів.

Таблиця 3.3– Дані для рішення завдання

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	231	3,54	задовільне	середній	в наявності	немає
A_2	232	4	задовільне	низький	немає	в наявності
A_3	201	2,3	задовільне	середній	немає	немає
A_4	297	3,3	добре	середній	в наявності	в наявності

Було застосовано метод AHP для розв’язку поставленої задачі. Відповідно до методу AHP задача була представлена у вигляді ієрархії [98]: Мета – Критерії – Альтернативи (див. рис. 3.2).

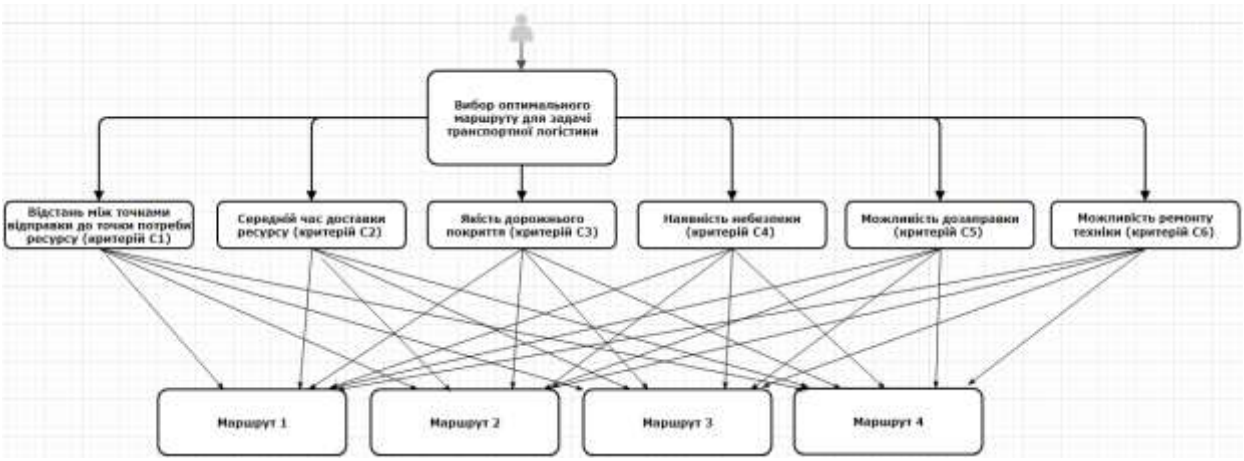


Рис. 3.2. Ієрархії для задачі вибору найкращого маршруту

Результат попарного порівняння критеріїв та альтернатив за критеріями представлено на рисунку 3.3.

Попарне порівняння критеріїв

	c1	c2	c3	c4	c5	c6
c1	1	3	7	6	3	3
c2	1/3	1	1/5	1/7	3	3
c3	1/7	5	1	3	5	5
c4	1/6	7	1/3	1	5	5
c5	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1
c6	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1

Попарне порівняння альтернатив по відношенню до критеріїв

c1	A1	A2	A3	A4
A1	1	3	1/5	5
A2	1/3	1	1/5	3
A3	5	5	1	5
A4	1/5	1/3	1/5	1

c2	A1	A2	A3	A4
A1	1	3	1/5	1/3
A2	1/3	1	1/5	1/3
A3	5	5	1	3
A4	3	3	1/3	1

c3	A1	A2	A3	A4
A1	1	1/3	5	3
A2	5	1	5	3
A3	1/5	1/5	1	1/3
A4	1/3	1/3	3	1

c4	A1	A2	A3	A4
A1	1	1/3	3	3
A2	3	1	3	3
A3	1/3	1/3	1	1
A4	1/3	1/3	1	1

c5	A1	A2	A3	A4
A1	1	1	1/3	1/5
A2	1	1	1/3	1/5
A3	3	3	1	1/3
A4	5	5	3	1

c6	A1	A2	A3	A4
A1	1	1	3	1/3
A2	1	1	3	1/3
A3	1/3	1/3	1	1/3
A4	3	3	3	1

Рис. 3.3. Матриці попарних порівнянь для двох рівнів ієрархії

Було отримано наступні значення глобальних оцінок альтернатив за методом AHP: $S_1 =$ 0,476; $S_2 =$ 0,206; $S_4 =$ 0,176; $S_3 =$ 0,141. Після впорядкування альтернатив за глобальними оцінками, було отримано наступне ранжування: $A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$.

На рисунку 3.4 показано значення глобальних оцінок альтернатив.

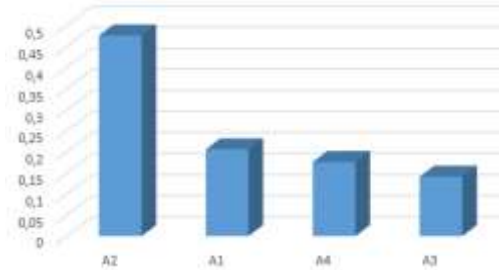


Рис. 3.4. Значення глобальних оцінок альтернатив

Далі задачу розв’язано розробленим методом mSmart. В таблиці 3.4 представлено кількісні дані для рішення завдання, які отримано на етапах 6, 8, 9 методу mSmart.

Таблиця 3.4 Кількісні дані для рішення завдання

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	231	3,54	0,6	0,46	0,512	0,435
A_2	232	4	0,66	0,31	0,513	0,434
A_3	201	2,3	0,46	0,5	0,528	0,415
A_4	297	3,3	0,53	0,5	0,579	0,488

Було отримано наступне ранжування альтернатив: $A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$. На рисунку 3.5 показано значення глобальних оцінок альтернатив.

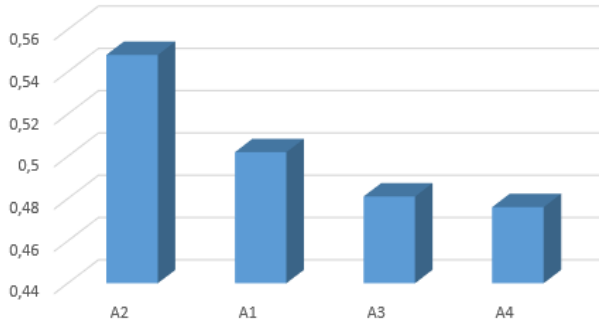


Рис. 3.5. Ранжування альтернатив, отримане за методом mSmart

3.3 Порівняльний аналіз методів AHP та mSmart

Для порівняння методів AHP та mSmart були розглянуті фактори запропоновані в [99]:

1. адекватність до змін альтернатив або критеріїв;
2. гнучкість у процесі прийняття рішень;
3. обчислювальна складність.

3.3.1 Адекватність до змін альтернатив

Під час прийняття рішення координатором волонтерів, щодо вибору маршруту перевезення гуманітарної допомоги або людей в умовах військових дій може змінюватись кількість доступних маршрутів

транспортування (альтернатив). І бажано, щоб метод був стійким до зміни кількості альтернатив.

Вище під час використання методу АНР до знаходження найкращого маршруту транспортування було отримано наступне ранжування альтернатив:

$A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$.

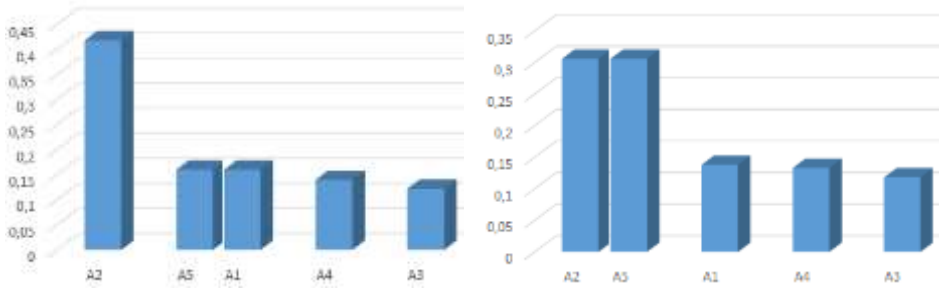
Для перевірки стійкості методу щодо зміни кількості альтернатив, було введено додатковий п’ятий альтернативний маршрут. В результаті експерименту додаткова альтернатива A_5 поступово обиралась рівною однієї з існуючих альтернатив.

У випадку, коли альтернатива A_5 дорівнювала альтернативі A_1, отримали ранжування $A_2 \succ A_5 = A_1 \succ A_4 \succ A_3$, значення глобальних оцінок альтернатив у цьому випадку показано на рисунку 3.6 а.

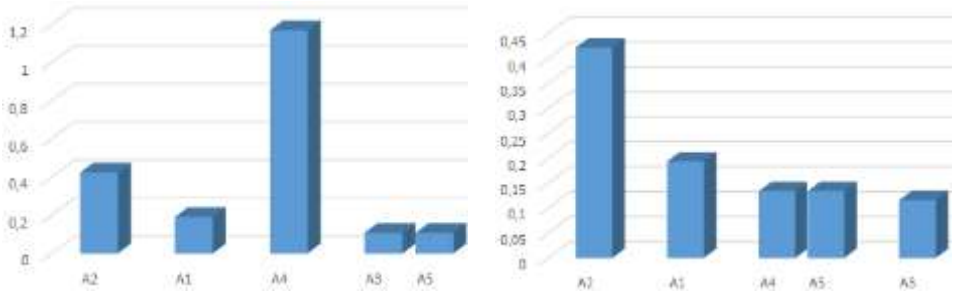
У випадку, коли альтернатива A_5 дорівнювала альтернативі A_2, отримали ранжування $A_2 = A_5 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$, значення глобальних оцінок альтернатив у цьому випадку показано на рисунку 3.6 б.

У випадку, коли альтернатива A_5 дорівнювала альтернативі A_3, отримали ранжування $A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3 = A_5$, значення глобальних оцінок альтернатив у цьому випадку показано на рисунку 3.6 в.

У випадку, коли альтернатива A_5 дорівнювала альтернативі A_4, отримали ранжування $A_2 \succ A_1 \succ A_4 = A_5 \succ A_3$, значення глобальних оцінок альтернатив у цьому випадку показано на рисунку 3.6 г.



а б



в г

Рис. 3.6. Ранжування альтернатив при дослідженні адекватності до змін альтернатив методу AHP

В результаті дослідження було отримано, що у всіх випадках найкращою є альтернатива A_2 і порядок ранжування не змінився, тобто метод AHP виявився стійким щодо зміни альтернатив.

Розроблений метод mSmart також було досліджено на стійкість щодо зміни кількості альтернатив шляхом введення додаткового альтернативного маршруту. Вище було отримано наступне ранжування альтернатив: $A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$ при застосуванні методу mSmart до вирішення задачі знаходження найкращого маршруту.

Результати дослідження представлені в таблиці 3.5. Значення глобальних оцінок альтернатив у разі рівності додаткової альтернативи A_5 альтернативам A_i, $(i = \overline{1,4})$ показано на рисунках 3.7 а) – г), відповідно.

Таблиця 3.5 Результати дослідження адекватності до змін альтернатив методу mSmart

Альтернативи	Результуюче ранжування альтернатив
$A_5 = A_1$	$A_2 \succ A_1 = A_5 \succ A_3 \succ A_4$
$A_5 = A_2$	$A_2 = A_5 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$
$A_5 = A_3$	$A_2 \succ A_1 \succ A_3 = A_5 \succ A_4$
$A_5 = A_4$	$A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4 = A_5$

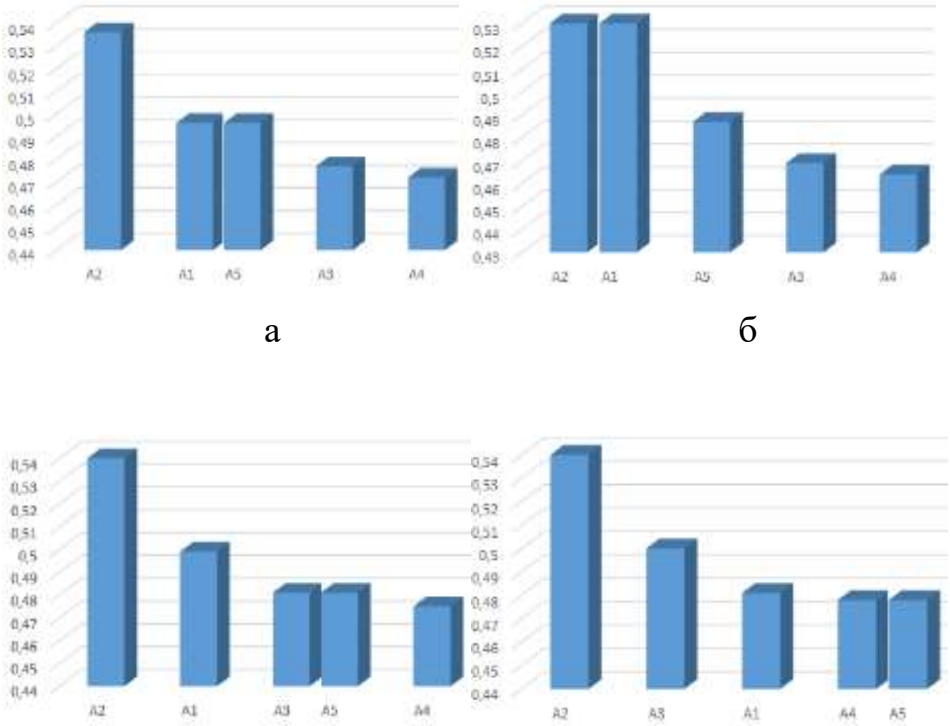


Рис. 3.7. Ранжування альтернатив при дослідженні адекватності до змін альтернатив методу mSmart

В результаті дослідження отримано, що у всіх випадках найкращою є альтернатива A_2 і порядок ранжування не змінився, тобто метод mSmart виявився стійким щодо зміни кількості альтернатив.

3.3.2 Адекватність до змін критеріїв

Аналогічне дослідження було проведено щодо зміни кількості критеріїв. Послідовно було добавлено додатковий критерій C_7, якій дорівнював існуючим критеріям і перевірено, як внесення додаткового критерію впливало на ранжування альтернатив.

В результаті застосування методу AHP було отримано наступне ранжування альтернатив $A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$. Результати дослідження адекватності методу AHP щодо змін критеріїв наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 Результати дослідження адекватності до змін критеріїв методу AHP

Критерії	Результуюче ранжування альтернатив	Значеннями глобальних оцінок
$C_1=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$	[0,456; 0,209; 0,69; 0,166]
$C_2=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$	[0,459; 0,208; 0,171; 0,162]
$C_3=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$	[0,507; 0,211; 0,167; 0,115]
$C_4=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$	[0,514; 0,205; 0,157; 0,124]
$C_5=C_7$	$A_2 \succ A_4 \succ A_1 \succ A_3$	[0,447; 0,203; 0,199; 0,151]
$C_6=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$	[0,454; 0,206; 0,202; 0,138]

Отримали, що у двох випадках коли: $C_1=C_7$, $C_5=C_7$ альтернатива A_2 залишилась найкращою, але в першому випадку пріоритетність альтернатив A_3, A_4 змінилася. У другому випадку альтернатива A_4 виявилась найкращою ніж альтернативи A_1 та A_3.

Далі було досліджено адекватність методу mSmart щодо змін критеріїв, для чого також послідовно додавали критерій C_7, якій дорівнював існуючим критеріям. Результати дослідження наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 Результати дослідження адекватності до змін критеріїв методу mSmart

Критерії	Результуюче ранжування альтернатив	Значеннями глобальних оцінок
$C_1=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$	[0,544; 0,504; 0,493; 0,465]
$C_2=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$	[0,536; 0,499; 0,494; 0,478]
$C_3=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$	[0,507; 0,211; 0,167; 0,115]
$C_4=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$	[0,567; 0,499; 0,474; 0,470]
$C_5=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$	[0,539; 0,499; 0,484; 0,482]
$C_6=C_7$	$A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$,	[0,540; 0,500; 0,485; 0,479]

Отримали, що у двох випадках коли: $C_3 = C_7$, $C_5 = C_7$, $C_6 = C_7$ альтернатива A_2 залишилась найкращою далі йде альтернатива A_1, але змінилась приорітетність альтернатив A_3 та A_4.

Таким чином, у разі зміни кількості критеріїв обидва методи не є стійкими, але метод mSmart є більш стійким, так як пріоритетність перших двох альтернатив залишається незмінною.

Але, як зазначалося в [100, 101] при використанні методу AHP існує обмеження, щодо кількості альтернатив та критеріїв. Сааті [98] передбачає, що кількість критеріїв або альтернатив повинні бути обмежені дев'ятьма, щоб не порушувати людське судження та послідовність оцінок.

3.3.3 Гнучкість у процесі прийняття рішень

У розділі 1 було проведено порівняння методів MCDM за кількістю матриць парних порівнянь, які заповнює ОПР під час введення даних для знаходження рішення задач. В [99] пропонується розраховувати показник гнучкості, який дорівнює кількості оцінок, які виконують експерти під час застосування методів MCDM. Даний показник також відображає час, який витрачає ОПР на введення даних для застосування методів MCDM.

Для розрахунку показника гнучкості було розглянуто задача знаходження найкращої альтернативи A_i $(i = \overline{1,m})$ з m можливих, для вибору якої експерти проводять оцінку кожної альтернативи за n критеріями C_j $(j = \overline{1,n})$.

Було розраховано показник гнучкості для метода AHP.

В методі AHP експертами будується $m+1$ матриця парних порівнянь [98]. Матриця парних порівнянь має властивість зворотної симетричності, тобто $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$, де a_{ij} - елемент матриці порівнянь $i, j = \overline{1,m}$ (для матриці

парних порівнянь альтернатив) або $i, j = \overline{1,n}$ (для матриці парних порівнянь критеріїв).

На першому етапі проводиться структуризація задачі у вигляді ієрархічної структури з декількома рівнями: мета – критерії – альтернативи. Ієрархія будується з вершини, через проміжні рівні, до найнижчого рівня. Для другого рівня ієрархії порівнюються критерії між собою по відношенню до загальної мети і будується одна матриця парних порівнянь розміру $n \times n$. В силу зворотної симетричності матриці парних порівнянь експертами для порівняння критеріїв виконується $\frac{n(n-1)}{2}$ оцінок.

Для третього рівня ієрархії порівнюються m альтернатив A_i по відношенню до кожного з n критеріїв C_j. В силу зворотної симетричності матриці парних порівнянь експертами для порівняння альтернатив виконується $\frac{nm(m-1)}{2}$ оцінок.

Таким чином, було отримано, що показник гнучкості для метода AHP дорівнює:

$$J_{AHP} = \frac{n(n-1)}{2} + \frac{nm(m-1)}{2}. \tag{3.4}$$

Для розрахунку показника гнучкості для метода mSmart було враховано те, що експерти призначають ваги m критеріям C_j, для кожного з m критеріїв обирають дію над критеріями (максимізація, мінімізація) і будують одну матрицю рішень [99], яка містить оцінки m альтернатив A_i за n критеріями C_j.

Таким чином, було отримано, що показник гнучкості для метода mSmart дорівнює:

$$J_{mSmart} = 2n + mn = n(m+2). \tag{3.5}$$

Було проведено дослідження показника гнучкості у разі застосування методів AHP та mSmart, кількість альтернатив та критеріїв змінювалась від 2

до 9 (див. рис. 3.8). Отримали, що при кількості альтернатив $m \geq 3$ показник гнучкості для методу mSmart краще ніж для методу AHP.

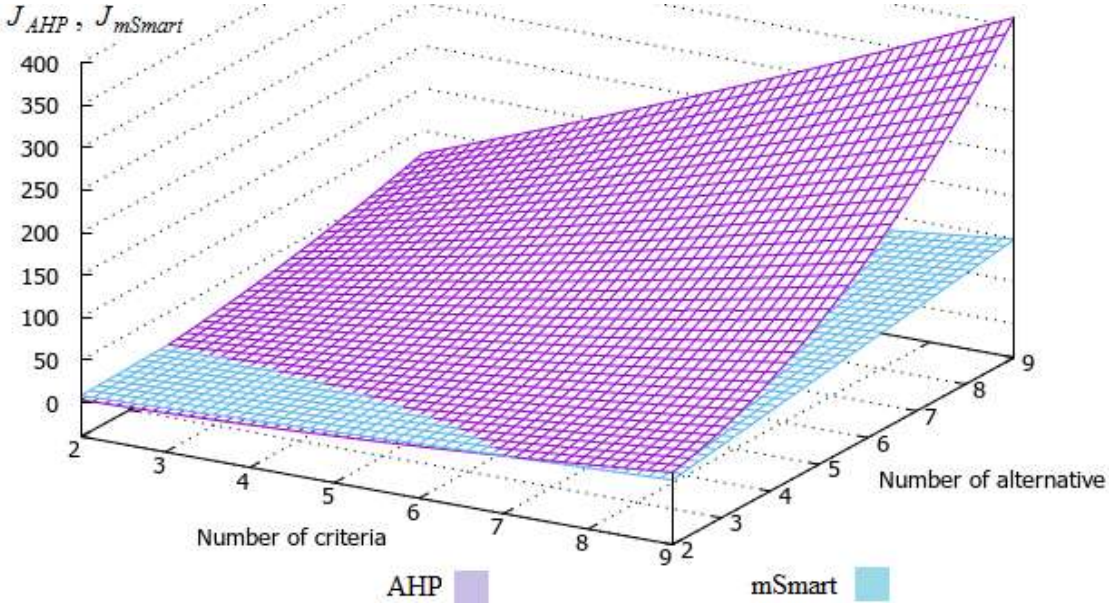


Рис. 3.8. Показник гнучкості для методів AHP та mSmart

Для розглянутої в роботі задачі m=4, n=6 показник гнучкості для методу mSmart склав 36, а для методу AHP – 51.

3.3.4 Обчислювальна складність

Під час обчислення обчислювальної складності методів враховувалось кількість операцій множення, ділення, зведення в ступінь [99].

В методі AHP під час обчислення власного вектору для матриці попарних порівнянь другого рівня (порівняння критеріїв) операція множення виконується $\frac{n(n-1)}{2}$ раз. Зведення у ступінь n раз.

Під час обчислення власного вектору для матриці попарних порівнянь третього рівня (порівняння альтернатив) відповідно до n критеріїв, операція множення виконується $\frac{nm(m-1)}{2}$ раз. Зведення у ступінь nm раз.

На етапі обчислення глобальних пріоритетів для альтернатив операція множення виконується mn разів.

Таким чином, було отримано, що показник обчислювальної складності методу AHP дорівнює:

$$T_{AHP} = n(n-1) + n + mn(m-1) + mn + mn = n^2 + nm(m+1). \qquad (3.6)$$

В методі mSmart відбувається нормалізація ваг критеріїв під час чого операція ділення виконується n раз. Під час нормування елементів матриці рішень операція ділення і зведення в ступінь виконується nm разів відповідно. На етапі обчислення глобальних пріоритетів для альтернатив операція множення виконується mn разів.

Таким чином, було отримано, що показник обчислювальної складності для метода mSmart дорівнює:

$$T_{mSmart} = n + 2nm + mn = n(3m+1). \qquad (3.7)$$

Було проведено дослідження показника обчислювальної складності у разі застосування методів AHP та mSmart, кількість альтернатив та критеріїв змінювалась від 2 до 9 (рис. 3.9).

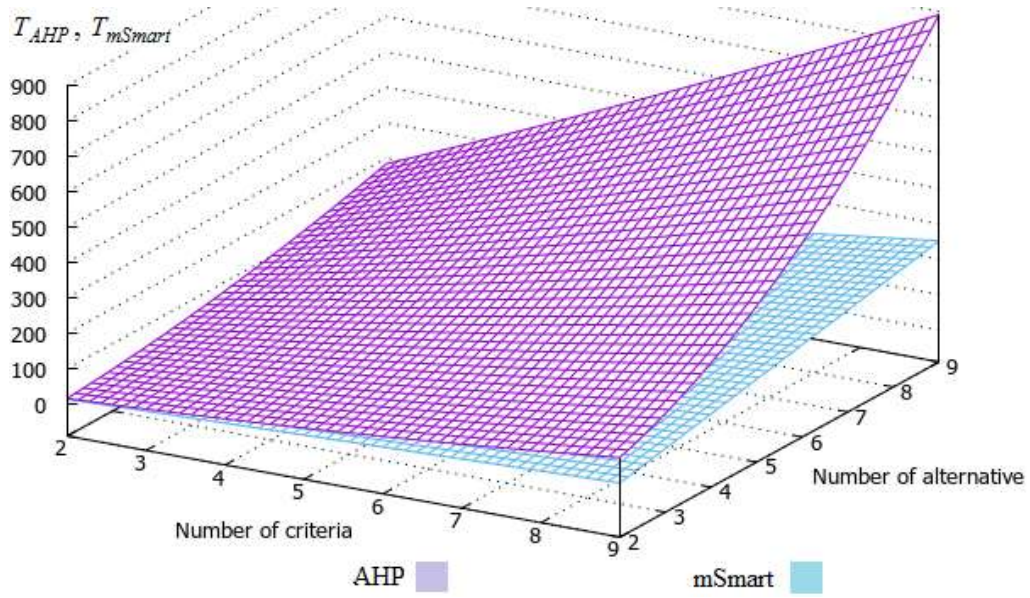


Рис. 3.9. Показник обчислювальної складності для методів AHP та mSmart

Отримали, що показник обчислювальної складності у разі застосування методу mSmart нижче ніж для методу AHP в 1,14-3,54 разів, в залежності від кількості альтернатив та критеріїв.

Для розглянутої в роботі задачі m=4, n=6 показник обчислювальної складності для методу AHP склав 156 а для методу mSmart - 78, що нижче в 2 рази.

Обидва метода AHP та mSmart підтримують групове прийняття рішень. В методі AHP та mSmart агрегація суджень ОПР виконується шляхом обчислення середнього арифметичного суджень. Але у разі збільшення кількості ОПР обчислювальна складність зростає, тому краще використовувати метод mSmart при груповому прийнятті рішень.

3.4 Дослідження достовірності отриманих на основі метода mSmart рішень

Було проведено дослідження ступені достовірності рішень отриманих в результаті застосування методу mSmart до задачі вибору найкращого маршруту командою волонтерів.

Початкові данні для розв’язку задачі транспортної логістики представлено в таблиці 3.2. Далі для розв’язку поставленої задачі було застосовано метод AHP і його модифікація – метод MAHP та методи SMART і mSmart. В таблиці 3.8 представлено результати розрахунків із застосуванням даних методів, де жирним виділено оцінка найкращої альтернативи за відповідним критерієм.

Таблиця 3.8 Результати розрахунків за методами MCDM

Альтернативи	AHP	MAHP	SMART	mSmart
A_1	0,206	4,967	0,345	1, 412
A_2	**0,476**	**5,377**	0,607	**1,416**
A_3	0,141	4,876	0,601	1,293
A_4	0,176	4,883	**0,652**	1,098

На основі даних представлених в таблиці 3.8 було надано ранги альтернативам (табл. 3.9). Альтернативі з найбільшим значенням узагальненої оцінки альтернатив назначається ранг 1 и так далі. Отримали наступне ранжування альтернатив:

– за методом AHP - $A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$;

– за методом MAHP - $A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$;

– за методом SMART - $A_4 \succ A_2 \succ A_1 \succ A_3$;

– за методом mSmart - $A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$.

Таким чином, за методами AHP, MAHP і mSmart найкращим маршрутом виявився 2-й маршрут, а за методом SMART – 4-й маршрут. Маємо, що вдосконалений метод mSmart показав такий же результат, як і метод AHP, який є прийнятим еталоном багатокритеріального експертного оцінювання щодо достовірності рішень.

З врахуванням результатів ранжування за розглянутими методами (табл. 3.9, стовпці 1-4) було отримано результуюче ранжування маршрутів (табл. 3.9, стовпець 6). Для отримання результуючого ранжування було застосовано метод на основі розрахунку найменшого значення суми значень рангів відповідних альтернатив [102]. Спочатку для кожної альтернативи A_i ($i = \overline{1,4}$) було знайдено сума відповідних значень рангів, які були назначені відповідній альтернативі після ранжування за розглянутими методами (табл. 3.9, стовпець 5). Далі альтернативі з найменшим значенням суми було назначено результуючий ранг 1 і так далі в порядку зростання (табл. 3.9, стовпець 6).

Таблиця 3.9 Результати ранжування альтернатив

Альтернативи	AHP	MAHP	SMART	mSmart	Сума	Результуючий ранг
	1	2	3	4	5	
A_1	2	2	3	2	9	2
A_2	**1**	**1**	2	**1**	**5**	1
A_3	4	4	4	3	15	4
A_4	3	3	**1**	4	11	3

В результаті було отримано наступне результуюче ранжування маршрутів: $A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$, тобто найкращим виявився 2-й маршрут.

Було встановлено ступінь достовірності отриманих на основі оцінок експертів-волонтерів рішень на основі розрахунку рангових коефіцієнтів кореляції Кендалла та Спірмена [103]. Чим ближче значення коефіцієнтів кореляції Кендалла та Спірмена до одиниці, тим більш достовірною є оцінка критеріїв на основі оцінок експертів - волонтерів.

Розрахунок коефіцієнту кореляції Кендалла виконується за наступною формулою [103]:

$$\tau_{набл} = \frac{P - Q}{\frac{N(N-1)}{2}}, \qquad (3.8)$$

де P - число збігів, Q - число інверсій, N - кількість ранжуємих ознак.

Отримали наступні значення коефіцієнтів кореляції Кендалла при порівнянні результатів ранжування альтернатив за методами AHP, MAHP, SMART, mSmart і результуючим ранжуванням відповідно (табл. 3.10).

Таблиця 3.10 Значення коефіцієнтів кореляції Кендалла

Коефіцієнт кореляції Кендалла	AHP	MAHP	SMART	mSmart
$\tau_{набл}$	0,8	0,8	0,4	0,8

Також було розраховано коефіцієнт кореляції Спірмена за формулою [103]:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n}(d_i^2)}{n(n^2-1)}, \qquad (3.9)$$

де d_i - різниця між рангами для кожної ознаки, n - кількість ранжуємих ознак.

Було отримано наступні значення коефіцієнтів кореляції Спірмена при порівнянні результатів ранжування альтернатив за методами AHP, MAHP, Smart і вдосконаленим методом mSmart і результуючим ранжуванням відповідно (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 Значення коефіцієнтів кореляції Спірмена

Коефіцієнт кореляції Спірмена	AHP	MAHP	SMART	mSmart
ρ	0,9	0,9	0,6	0,9

Аналіз отриманих значень коефіцієнтів кореляції Кендала та Спірмена показав, що достовірність рішення, отриманого на основі метода mSmart, не зменшилась та є не менш достовірним ніж за методами AHP, MAHP та SMART.

3.5 Метод прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики

Згідно до отриманих результатів в роботі удосконалено метод прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики, який реалізовано 3 стадіями:

Стадія 1 – Розбиття маршруту на ділянки з призначенням експертів-волонтерів.

Крок 1.1. Координатор команди волонтерів отримує координати пунктів відправлення та доставки ресурсу. За допомогою мапи місцевості вибираються не менше, ніж три можливих маршрути. Кожен з маршрутів розбивається на ділянки.

Крок 1.2. На кожній із ділянок призначається експерт-волонтер, з яким встановлюється стійкий зв'язок. Експертам-волонтерам пояснюються показники оцінки поточного стану ділянки та способи їхньої оцінки.

Стадія 2 – Прийняття рішення.

Крок 2.1. За командою ОПР від експертів-волонтерів на ділянках маршрутів приймаються оцінки показників стану ділянок C_{ij}^{k} ($k=\overline{1,8}$, $i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n}$). Час збору інформації – T_{call}.

Крок 2.2. На основі методу формування колективної оцінки поточного стану маршруту ОПР отримує вектор показників оцінки поточного стану кожного маршруту $C_i=\left\lfloor C_{iagr}^{1}, C_{iagr}^{2}, C_{iagr}^{3}, C_{iagr}^{4}, C_{iagr}^{5}, C_{iagr}^{6}, C_{iagr}^{7}, C_{iagr}^{8}\right\rfloor$. Час формування оцінок (агрегування) – T_{agr}.

Крок 2.3. На підставі методу mSmart ОПР обирає найкращий маршрут.

Крок 2.4. Маршрут, який отримав ранг 2 у методі mSmart, обирається як резервний. Час на виконання кроків 2.3, 2.4 (прийняття рішення) – T_{DM}.

Крок 2.5. Експерти-волонтери на ділянках маршрутів, які отримали ранг менше 2, відключаються від зв'язку. Експерти-волонтери на ділянках основного маршруту (ранг 1) та резервного маршруту (ранг 2) залишаються на зв'язку.

Стадія 3 – Виконання транспортної логістичної операції.

Крок 3.1. Команда волонтерів-виконавців починає рух основним маршрутом. Рух команди контролюється ОПР. У разі зміни ситуації на своїй ділянці, яка унеможливлює просування дільницею, експерт-волонтер передає ОПР сигнал тривоги ALARM.

Крок 3.2. При надходженні сигналу ALARM із ділянки основного маршруту ОПР передає команду волонтерам-виконавцям про перехід на найближчу ділянку резервного маршруту.

Крок 3.3. Після досягнення пункту доставки ресурсу волонтери-виконавці повідомляють ОПР про закінчення завдання транспортної логістики.

Схема розробленого методу підтримки прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні завдань транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації представлена на рисунку 3.10.

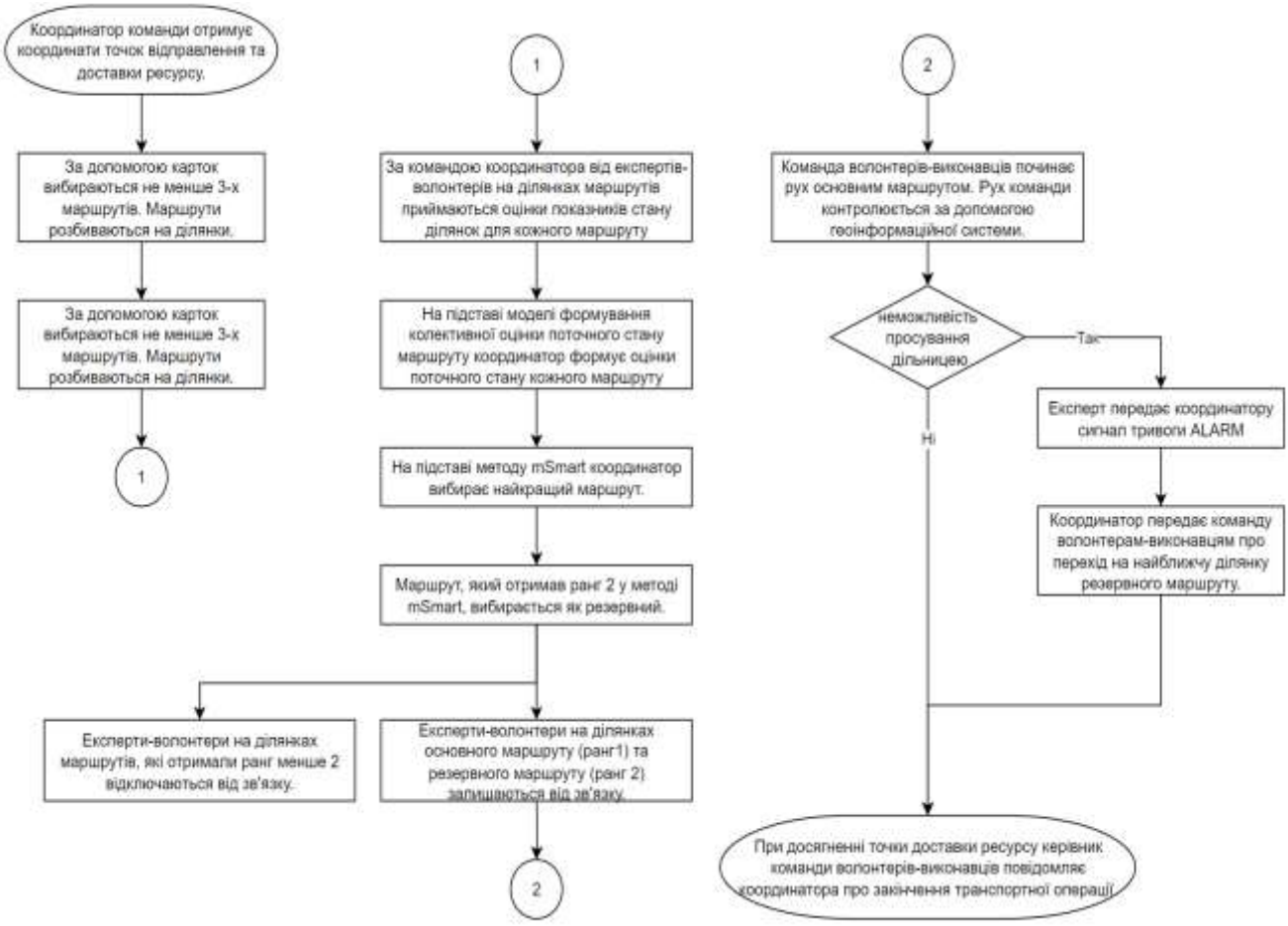


Рис. 3.10. Схема методу прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні завдань транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації

3.6 Експериментальне дослідження розробленого метода шляхом моделювання

Для експериментального дослідження розробленого методу прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні завдань транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації, проведено моделювання методу на двох задачах: задачі координатора команди волонтерів та задач, які стоять перед експертами-волонтерами на стадії прийняття рішення 2.

Метою дослідження було підтвердження того, що розроблений метод прийняття рішень може бути реалізований у реальному масштабі часу, тобто час прийняття рішення T_{DM} не повинен перевищувати час на збір T_{call} і агрегування інформації T_{agr}.

Дані були отримані шляхом опитування, який було проведено серед членів команді волонтерів. Час виконання етапів було зафіксовано за допомогою мобільних телефонів або часів.

У якості моделі для збору даних про стан ділянок маршруту через оцінювання показників стану ділянок використовувалась запропонована в роботі (див. розділ 2) концептуальна модель оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації. Обраний маршрут було розбито на 5 ділянок, за якими було закріплено волонтери.

Досліджено:

1. час для збору даних про стан ділянок маршруту;

2. час, необхідний для отримання інформації від експертів-волонтерів на кожній ділянці;

3. час, який необхідний для координатора команди волонтерів для обчислення показників (агрегування) оцінки поточного стану маршруту на основі отриманих оцінок від експертів-волонтерів;

4. час, який необхідний для координатора команди волонтерів для виконання розрахунків за методом mSmart та прийняття рішення на основі результатів розрахунків.

Дані результатів дослідження представлені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 Дані моделювання

Координатор команди волонтерів	Експерт-волонтер 1	Експерт-волонтер 2	Експерт-волонтер 3	Експерт-волонтер 4	Експерт-волонтер 5
Час на відправку запиту	Час на оцінку показників стану ділянки				
2 хв.	5 хв.	6 хв.	8 хв.	6 хв.	7 хв.

Продовження таблиці 3.12

Час формування колективної оцінки і вводу даних для застосування методу mSmart	Час на відправку оцінок показників стану ділянки				
30 хв.	10 сек.	12 сек.	15 сек.	10 сек.	9 сек.
Час розрахунку та обрання маршрутів з рангом 1 та 2					
4 хв.					

Таким чином отримали, що час на збір інформації щодо стану ділянок маршруту T_{call} ≈ 8 хв., час на агрегування інформації T_{agr}≈ 30 хв., час на прийняття рішення T_{DM} ≈ 4 хв, що підтверджує то, зо розроблений метод прийняття рішень може бути реалізований у реальному масштабі часу.

На рисунку 3.11 представлена діаграма діяльності [104] яка відображає процес виконання членами команди волонтерів кроків 2.1 і 2.2 стадії прийняття рішення 2.

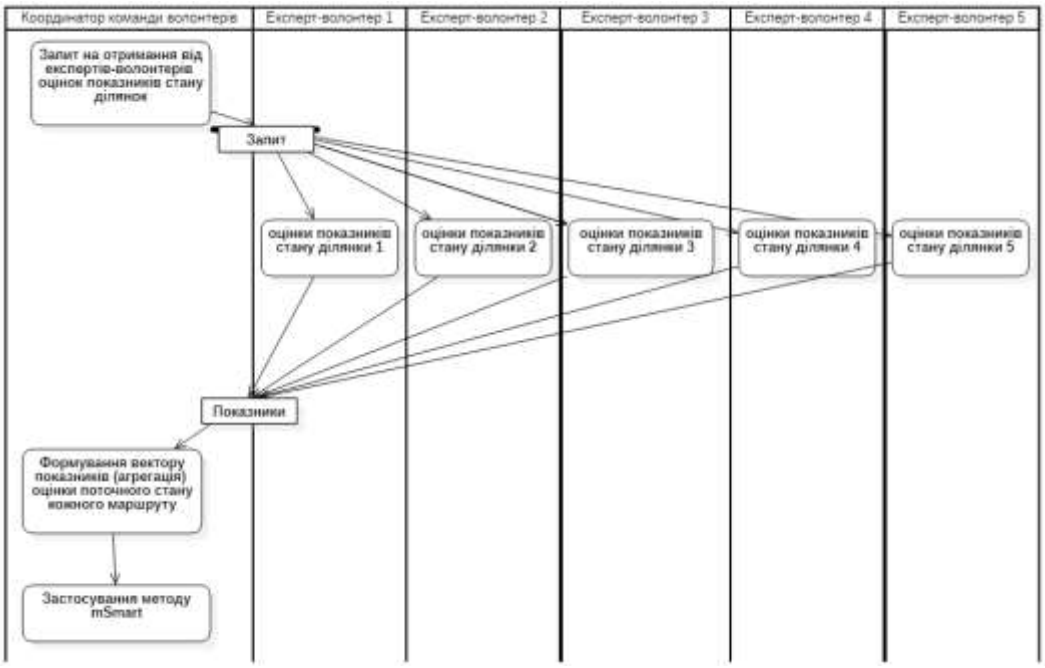


Рис. 3.11. Діаграма діяльності для кроків 2.1 і 2.2 стадії прийняття рішення 2

Шляхом моделювання даного методу доведено, що він може бути реалізований у реальному масштабі часу, так як виконується умова – час прийняття рішення не перевищує часу на збір і агрегування інформації:

$$T_{DM} \leq T_{call} + T_{agr}. \quad (3.8)$$

тобто час прийняття рішення не перевищує час на збір інформації, це означає, що метод може бути реалізований у реальному масштабі часу.

3.7 Висновки до третього розділу

У розділі удосконалено метод багатокритеріального експертного оцінювання SMART (mSmart), який дозволив знизити суб'єктивну роль ОПР і знизити часові витрати ОПР під час надання оцінок кожної альтернативі за всіма критеріями по шкалі, яка застосовується в методі SMART за рахунок того, що на даному етапі будується матриця рішень яка містить експертні оцінки альтернатив за критеріями. Також метод mSmart дозволив врахувати різні напрями оптимізації під час нормування кількісних елементів матриці рішень.

Проведено експериментальне дослідження розробленого методу mSmart. Під час дослідження було оцінено: адекватність до змін кількості альтернатив або критеріїв; гнучкість у процесі прийняття рішень; обчислювальна складність; адекватність підтримки групового прийняття рішень; обмеження методу щодо кількості маршрутів та критеріїв. Проведено порівняння методів mSmart та AHP, який на сьогоднішній день є прийнятим еталоном багатокритеріального експертного оцінювання. Було встановлено, що тобто обидва методи є стійкими щодо зміни альтернатив. В результаті дослідження адекватності до змін критеріїв отримали що, у разі зміни кількості критеріїв обидва методи не є стійкими, але метод mSmart є більш стійким. В результаті дослідження гнучкості у процесі прийняття рішень було виявлено що показник гнучкості метода mSmart був кращим ніж показник гнучкості методу AHP. Результат дослідження показника обчислювальної складності у разі застосування методів AHP та mSmart

показав, що показник обчислювальної складності у разі застосування методу mSmart нижче ніж для методу AHP в 1,14-3,54 разів в залежності від кількості альтернатив та критеріїв. Аналіз адекватності підтримки групового прийняття рішень показав, що у разі збільшення кількості експертів буде зростати обчислювальна складність, тому краще використовувати метод mSmart. Дослідження обмежень щодо кількості маршрутів та критеріїв в методах AHP та mSmart показало, що в методі AHP кількість критеріїв або альтернатив повинні бути обмежені дев'ятьма. Це обмеження було введено Т.Сааті для того щоб не порушувати людське судження та послідовність оцінок. На відміну від AHP у метода mSmart обмеження у кількості альтернатив та критеріїв немає.

Проведено дослідження ступені достовірності рішень отриманих в результаті застосування методу mSmart до задачі вибору найкращого маршруту командою волонтерів. Результат дослідження показав, що коефіцієнт кореляції Кендала при порівнянні результатів ранжування альтернатив за методами AHP, MAHP та методом mSmart становить 0,8, а для методу Smart – 0,4. Коефіцієнт кореляції Спірмена при порівнянні результатів ранжування альтернатив за методами AHP, MAHP та методом mSmart становив 0,9, а для методу Smart – 0,6. Таким чином, отримано, що достовірність рішення, яке знайдено методом mSmart має таку ж степінь достовірності як і методи AHP та MAHP.

Сформульовано третій пункт наукової новизни: удосконалено метод багатокритеріального експертного оцінювання SMART, в якому, на відміну від відомого методу SMART, враховуються різні напрями оптимізації критеріїв, застосовуються спеціальні шкали для переведення якісних та релейних оцінок у чисельні, та проводиться нормування кількісних елементів матриці рішень, що дозволило підвищити оперативність експертного оцінювання при збереженні достовірності результатів.

У розділі сформульовано метод прийняття рішень командою волонтерів при виборі найкращого маршруту вирішенні оперативних завдань

транспортної логістики, який реалізовано трьома стадіями: попередня, прийняття рішень та виконання транспортної логістичної операції. В результаті дослідження запропонованого методу було доведено, що даний метод може бути реалізованим у реальному масштабі часу, так як час прийняття рішення не перевищує часу на збір і агрегування інформації.

Сформульовано четвертий пункт наукової новизни: отримав подальший розвиток метод прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики, який, на відміну від існуючих, враховує динамічну зміну обстановки та використання для формування колективної оцінки поточного стану маршруту непрофесійними експертами-волонтерами, що дозволило побудувати систему підтримки прийняття рішень командою волонтерів та контролю протікання операції під час виконання оперативних завдань транспортної логістики у реальному масштабі часу.

РОЗДІЛ 4
ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА МОБІЛЬНОЇ СППР ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ВОЛОНТЕРАМИ

На основі запропонованих моделі і методів в даному розділі проведено проектування, розробка та випробування мобільної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для вирішення оперативних завдань транспортної логістики волонтерами, а саме:

– виконано проектування архітектури СППР для вирішення оперативних завдань транспортної логістики волонтерами в умовах динамічних змін зовнішнього середовища командою волонтерів;

– розроблено мобільний застосунок для координатора команди волонтерів;

– розроблено мобільний застосунок для експертів-волонтерів;

– розроблено підсистему прийняття рішень на основі вдосконаленого методу mSmart;

– розроблено інтерфейс користувача, підсистема управління повідомленнями та взаємодії з базою даних;

– розроблено база даних;

– виконано програмна реалізація (Додаток З) мобільних застосунків для координатора команди волонтерів та експертів-волонтерів;

– проведено експериментальне дослідження розробленої СППР для вирішення оперативних завдань транспортної логістики волонтерами в умовах динамічних змін зовнішнього середовища командою волонтерів.

4.1 Архітектура мобільної СППР для підтримки прийняття рішень волонтерами

Під час проектування архітектури системи підтримки прийняття рішень необхідно враховувати комунікацію між її компонентами [105]. В розділі 2 розроблено інформаційну модель вибору маршруту розподіленої

волонтерської доставки ресурсів в умовах динамічних змін зовнішнього середовища, яка спирається тільки на власні людські ресурси команди. Особливістю цієї моделі є те що оперативна інформація щодо стану логістичних маршрутів поступає безпосередньо від експертів-волонтерів, які знаходяться на відповідних ділянках маршрутів.

Відповідно до сформульованого в розділі 3 методу прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики, завдання прийняття рішень командою волонтерів містить 3-и стадії: попередня стадія, стадія прийняття рішення і стадія виконання транспортної логістичної операції. Координатор команди волонтерів є ОПР, тому він задіян на всіх стадіях. Завданнями координатора команди волонтерів на попередній стадії є: отримання координат пунктів відправлення і доставки логістичного об’єкту; формування множини альтернатив, а саме можливий логістичних маршрутів; розбиття маршрутів на ділянки та закріплення волонтерів за ділянками; формування або оновлення множини критеріїв за допомогою експертів волонтерів. Завданнями координатора команди волонтерів на стадії прийняття рішення є: збір експертних оцінок щодо стану ділянок маршруту від експертів волонтерів; формування колективної оцінки поточного стану маршруту; вибір найкращого маршруту (основного) та запасного маршрутів на підставі методу mSmart. На стадії виконання транспортної логістичної операції координатор команди волонтерів: контролює рух команди волонтерів-виконавців за допомогою геоінформаційної системи; у разі отримання сигналу ALARM щодо ситуації на основному маршруті, яка унеможлює подальший рух за цим маршрутом, координатор передає команду волонтерам-виконавцям про перехід на ділянку резервного маршруту.

Для врахування особливостей передачі та оцінки інформації через членів команди волонтерів на основі концептуальної моделі оцінки стану маршруту та методу прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні

завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації побудована схема передачі інформації при виборі найкращого маршруту (рис.4.1).

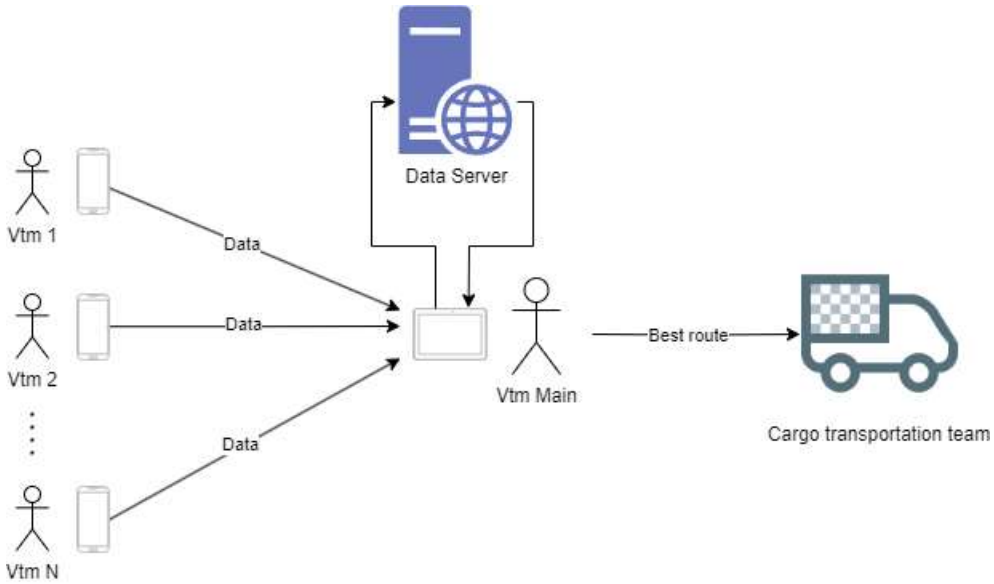


Рис. 4.1. Загальна схема передачі інформації під час застосування методу прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики

Відповідно до представленої схеми передачі інформації експерти-волонтери, які закріплені за своєю ділянкою дороги, вносять дані про стан ділянки дороги через мобільний застосунок, який встановлено на їх мобільні телефони. На попередній стадії прийняття рішень командою волонтерів, персональні дані експертів-волонтерів вносять до списку членів команди волонтерів, йому призначається певна ділянка дороги. Для визначення стану ділянки дороги експертам-волонтерам надано перелік показників оцінки поточного стану ділянок, які було визначено у розділі 2 на основі експертного опитування командирів команд волонтерів. Таким чином, при оцінці стану відповідної ділянки маршруту експерт волонтер надає відповіді на питання щодо стану ділянки дороги із запропонованих, зокрема: оцініть якість дорожнього покриття; чи відбуваються бойові дії на ділянці маршруту; чи існує ймовірність нападу ворога; чи є можливість дозаправки; чи є можливість ремонту техніки; чи є можливість отримання медичної допомоги

та інших. У разі виникнення змін стану ділянки експерти-волонтери оновлюють дані.

Для підтримки команди волонтерів при рішенні оперативних завдань транспортної логістики, а саме: передачі даних, збереження даних, порівняння і знаходження найкращого з маршрутів розроблена мобільна СППР, архітектура якої представлена на рисунку 4.2. Мобільна СППР складається з двох систем: системи відправки даних і системи підтримки прийняття рішень. Система відправки даних - це мобільний застосунок для експертів-волонтерів. Система підтримки прийняття рішень - це мобільний застосунок для координатора команди волонтерів, для розробки якої використовувалася трирівнева архітектура. Мобільний застосунок для координатора команди волонтерів (рис. 4.2) представляє собою взаємозв’язані підсистеми, які розташовані на мобільному пристрої.

Метою розробки мобільної СППР є забезпечення швидкої передачі актуальних даних щодо стану ділянок маршруту від експертів-волонтерів під час визначення найкращого маршруту перевезення гуманітарного вантажу або пасажирів. Введені експертами-волонтерами дані відправляються на пристрій ОПР, на якому встановлена серверна частина застосунку. ОПР вносить в систему інформацію, щодо відстані між пунктом відправки до пункту призначення і середнього часу доставки вантажу, отриману з використанням геоінформаційних технологій. Після того як ОПР ввів дані, в системі відбувається розрахунок узагальнених оцінок доступних маршрутів, що розглядаються на основі метода mSmart. ОПР аналізує отримані результати розрахунків і приймає рішення, щодо вибору найкращого маршруту з доступних.

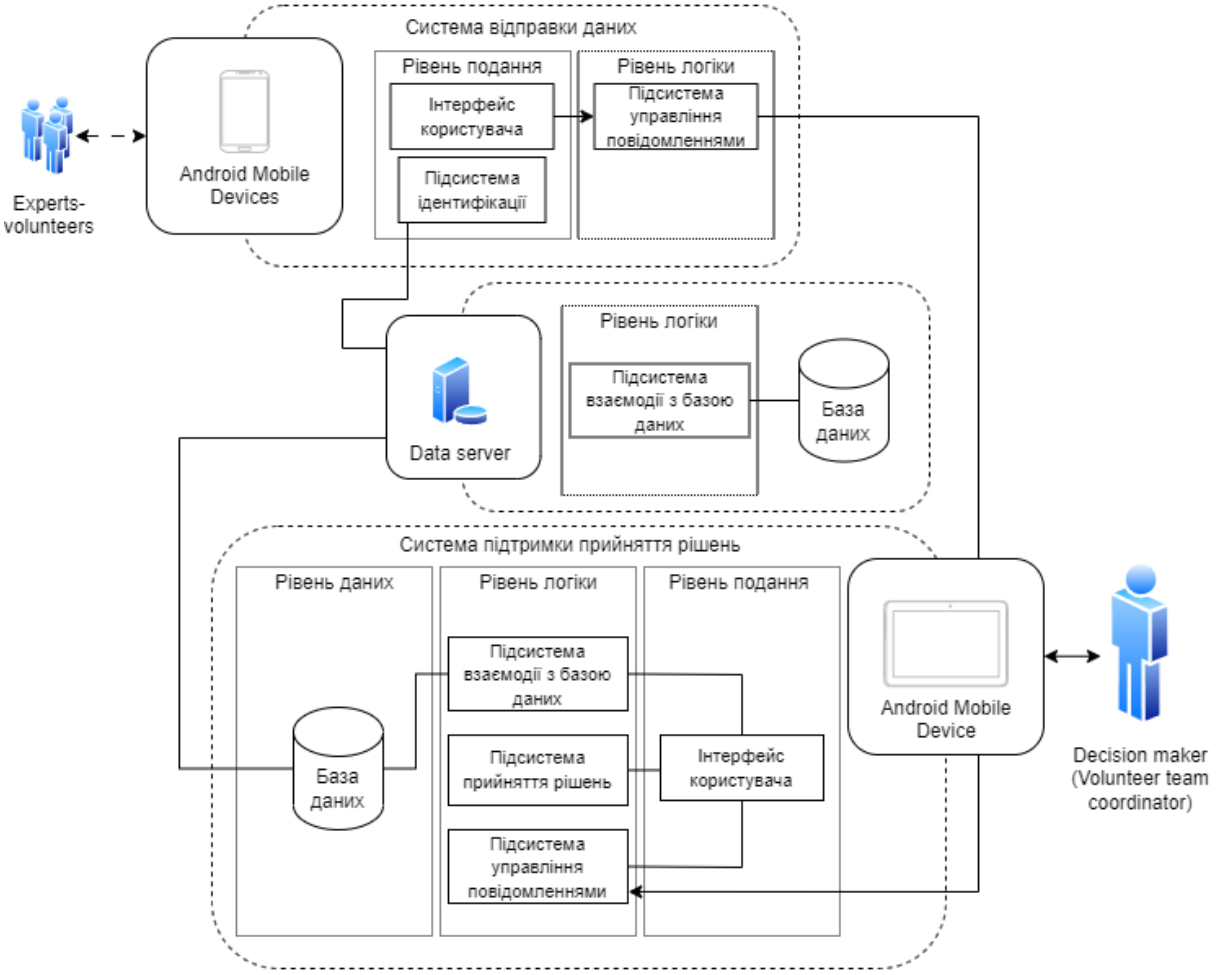


Рис.4.2. Архітектура мобільної СППР для команди волонтерів

Для забезпечення неперервної роботи системи дані щодо ділянок маршрутів та результати обчислення узагальнених оцінок маршрутів за наявності підключення до мережі Internet зберігаються на віддаленому веб сервері в базі даних для резервного копіювання. У разі якщо пристрій ОПР пошкоджено або ОПР використовує інший пристрій він може отримати інформацію щодо даних і рішень з віддаленого сервера.

4.2 Проект програмної реалізації мобільної СППР для підтримки прийняття рішень волонтерами

Під час проектування системи було враховано концептуальна модель оцінки стану маршруту, метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами, запропонований метод багатокритеріального експертного оцінювання mSmart, метод прийняття

рішень командою волонтерів та було визначено користувачів мобільної СППР. Було визначено всі варіанти використання мобільної СППР системи командою волонтерів, які були представлені у вигляді UML діаграми - діаграми прецедентів [106]. Також було розроблено діаграми взаємодії об’єктів розробляємої системи.

Діаграма прецедентів служить для виявлення і формального уявлення вимог до проектованої системі. Вона описує, які можливості надаватиме система кінцевому користувачеві, яка інформація необхідна для обробки запиту користувача. Акторами (користувачами) нашої системи є координатор команди волонтерів та експерти-волонтері. Основні функціональні вимоги було виявлено відповідно з розробленої концептуальної моделі підтримки прийняття рішення та методу підтримки прийняття рішень (рис. 4.3, рис. 4.4).

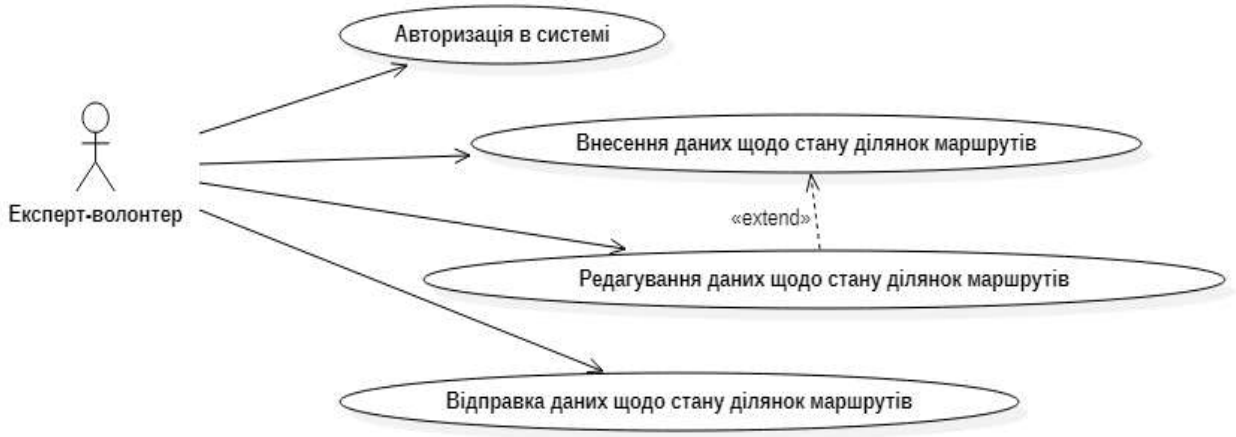


Рис.4.3. Діаграма прецедентів для мобільного застосунку для експертів-волонтерів

Дана діаграма відображає функціональні вимоги до системи відправки даних (мобільний застосунок для експертів-волонтерів), яка є клієнтом розробленої мобільної СППР.

На рисунку 4.4 представлена діаграма прецедентів для мобільного застосунку координатора команди волонтерів, яка є серверною частиною розробленої мобільної СППР.

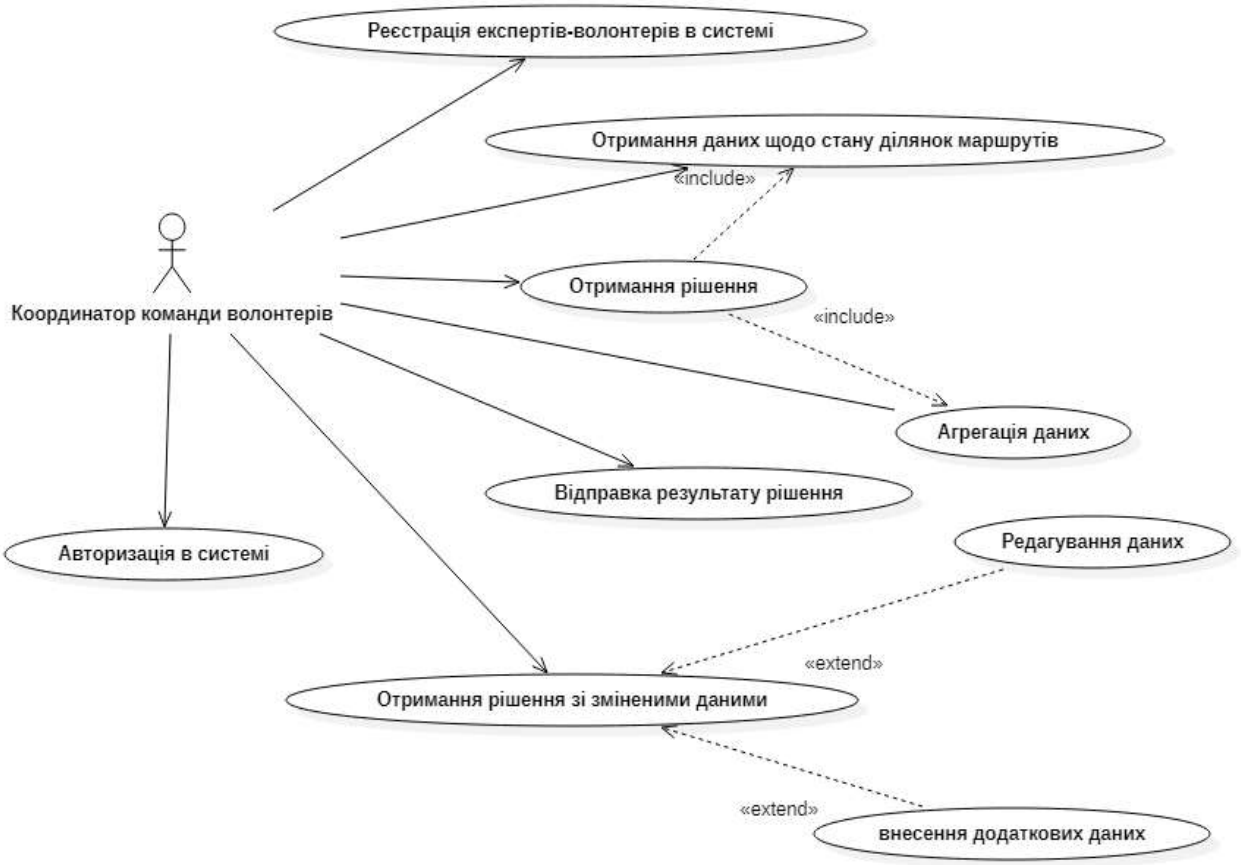


Рис.4.4. Діаграма прецедентів для мобільного застосунку координатора команди волонтерів

Розроблені діаграми прецедентів відображають вимоги користувачів системи, а саме координатора команди волонтерів та експертів-волонтерів.

В мобільному застосунку координатора команди волонтерів розробленої мобільної СППР реалізовано розроблений в роботі метод багатокритеріального експертного оцінювання mSmart. Класи програмної реалізації представлені на рисунку 4.5. Мобільна СППР була розроблена мовою Java для платформи Android у середовищі розробки Android Studio.

Клас ViborKolva.java - реалізує інтерфейс першого робочого стола користувача, а саме:

– дозволяє ввести кількість критеріїв та альтернатив;

– дозволяє відкрити список задач, які вирішувалися раніше;

– дозволяє відкрити дані з оцінками поточного стану ділянки які надали експерти-волонтери;

– виконує перевірку введених даних.

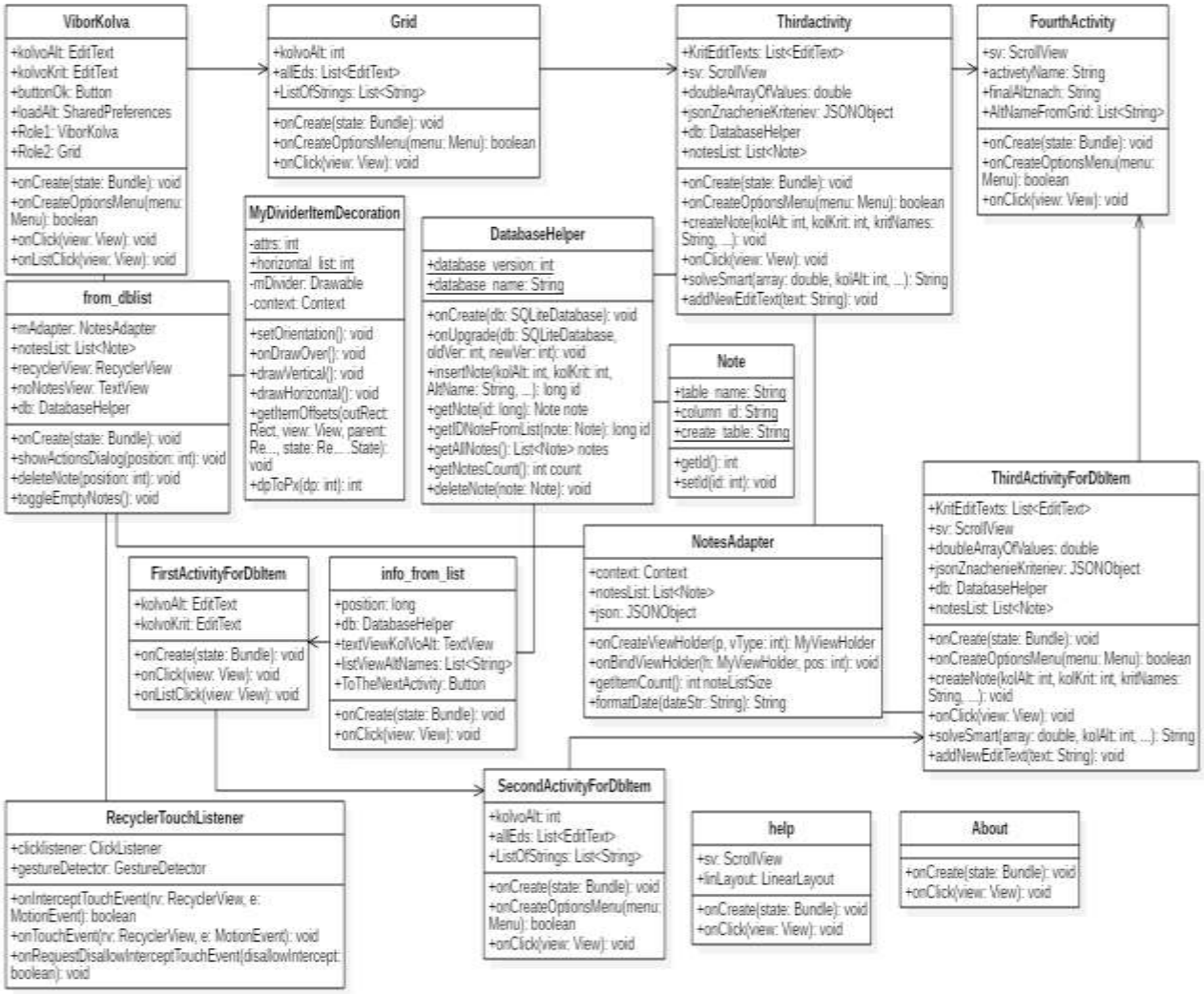


Рис.4.5. Діаграма класів мобільного застосунку координатора команди волонтерів

Клас Grid.java – реалізує інтерфейс другого робочого стола координатора команди волонтерів, а саме дозволяє ввести назви альтернатив (маршрутів) та критеріїв і виконує перевірку введених даних.

Клас Thirdactivity.java – реалізує інтерфейс третього робочого стола координатора команди волонтерів, а саме:

– дозволяє ввести чисельні оцінки кожної альтернативи (маршруту) за відповідними критеріями;

– дозволяє ввести оцінки критеріїв;

– дозволяє ввести дію над критеріями (максимізація/мінімізація);

– реалізує методику підтримки прийняття рішень задач багатокритеріального аналізу на основі метода mSmart;

– виконує запис даних до бази даних.

Клас FourthActivity.java – реалізує інтерфейс четвертого робочого стола координатора команди волонтерів, в якому виводиться результат роботи метода mSmart.

Клас DatabaseHelper.java забезпечує роботу з базою даних:

– створює базу даних;

– оновлює базу даних;

– записує дані;

– отримує дані;

– видаляє дані.

Клас Note.java створює об’єкт, який містить повну інформацію про дані, які будуть добавлятися або видалятися з бази даних.

Клас from_dblist.java – реалізує відображення списку задач, які вирішувалися раніше та надає можливість користувачу обрати задачу зі списку для перегляду.

Клас info_from_list.java – реалізує відображення задачі зі списку задач, які вирішувалися раніше та надає можливість користувачу (координатор команди волонтерів) обрати задачу зі списку:

– для перегляду повної інформації про обрану задачу;

– для редагування існуючих даних (назв альтернатив та критеріїв, значень оцінок альтернатив за критеріями, дій над критеріями, важливості критеріїв), якщо потрібно;

– для внесення змін (кількості альтернатив та критеріїв, назв альтернатив та критеріїв, значень оцінок альтернатив за критеріями, дій над критеріями, важливості критеріїв), якщо потрібно.

Клас NoteAdapter.java – організує вивід інформації з бази даних в певну строку списку, який є доступним для користувача.

Клас MyDividerItemDecoration.java реалізує графічний дизайн списку задач, які вирішувалися раніше.

Клас RecyclerTouchListener.java – оброблює натиск на елемент списку задач, які вирішувалися раніше, при цьому розрізняє короткий і довгий натиск. Короткий натиск обирає елемент списку, довгий – відкриває діалогове вікно, яке дозволяє видалити запис зі списку.

Клас FirstActivityForDbItem.java - реалізує інтерфейс першого робочого стола користувача для редагування даних з бази даних, а саме:

– дозволяє змінити кількість критеріїв та альтернатив;

– дозволяє відкрити список задач, які вирішувалися раніше;

– виконує перевірку введених даних.

Клас SecondActivityForDbItem.java - реалізує інтерфейс другого робочого стола користувача для редагування даних з бази даних, а саме дозволяє змінити назви альтернатив та критеріїв і виконує перевірку введених даних.

Клас ThirdactivityForDbItem.java - реалізує інтерфейс третього робочого стола користувача для редагування даних з бази даних, а саме:

– дозволяє ввести чисельні оцінки кожної альтернативи за відповідними критеріями;

– дозволяє ввести оцінки критеріїв;

– дозволяє ввести дію над критеріями (максимізація/мінімізація);

– реалізує метод mSmart;

– виконує запис даних до бази даних.

Клас help.java - інтерфейс робочого стола користувача, в якому виводиться довідкова інформація про застосунок.

Підсистема управління повідомленнями дає змогу отримувати інформацію від експертів-волонтерів через мережу Internet або за допомогою SMS.

Взаємодія ОПР з СППР відбувається через інтерфейс користувача, який відповідає за:

– введення необхідних даних для рішення задачі (кількість, назва критеріїв та альтернатив; оцінки альтернатив за критеріями; дії над критеріями; значність критеріїв);

– запуск роботи підсистеми прийняття рішення;

– відображення результатів обчислення;

– запуск роботи підсистеми керування базою даних;

– запуск роботи підсистеми керування повідомленнями.

Мобільний застосунок для експертів-волонтерів, а саме система відправки даних має дворівневу архітектуру [107]: рівень подання та рівень логіки застосунку. На рівні подання реалізовано інтерфейс користувача (експерта-волонтера) та підсистема ідентифікації користувача. Програмний код рівня подання представлено наступними класами:

клас Mainloginactivity.java - відповідає за запуск застосунка.

- ініціалізує всі необхідні компоненти застосунка.

- запускає reportactivity.

клас IdentUser.java - реалізує інтерфейс підсистеми ідентифікації користувача, через який експерт-волонтер авторизується в системі відправки даних:

- запитує у волонтера його ПІБ, номер телефону, геолокацію та зберігає данні для подальшої обробки.

Після проходження ідентифікації експерт-волонтер допускається до заповнення даних про його ділянку маршруту;

клас Data.java - реалізує інтерфейс користувача, через який в систему потрапляють дані від експертів-волонтерів.

Reportactivity.java - клас відповідальний за прийом відповідей від волонтерів про стан ділянки дороги за яку відповідальний волонтер.

- отримує від волонтера та зберігає відповіді про стан ділянки дороги

- натискання кнопки "відправити результати" викликає метод sendreport()

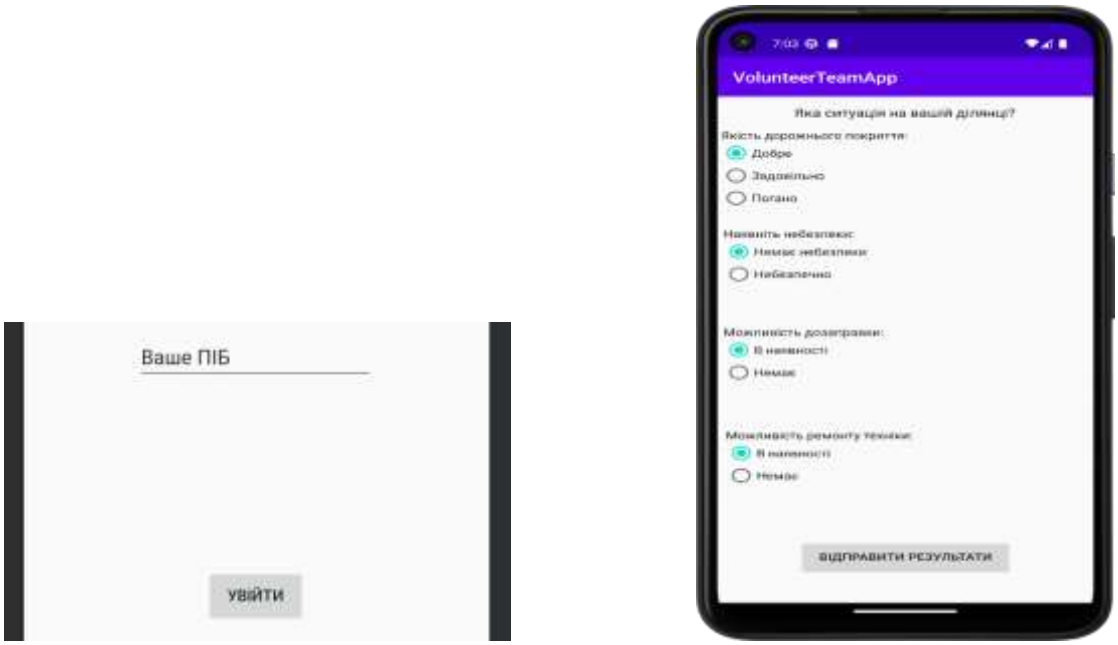
Networkhelper.java - клас, який відповідає за доступ до мережі.

- відправляє дані про волонтера та стан дороги керівнику волонтерами через інтернет.

Smshelper.java - клас, який відповідає за відправлення sms-повідомлень.

- відправляє дані про волонтера та стан дороги керувачу волонтерами через sms-повідомлення.

Прикладний код рівня логіки застосунку представлено класом send.java метод send() якого реалізує обробку натискання кнопки “Відправити результати” (рис. 4.6 б), а саме, усі дані збираються та відправляються через мережу Internet у пристрій ОПР. Якщо відсутній зв’язок через мережу Internet, відкривається контекстне меню з можливістю обрати SMS повідомлення у якості способу передачі даних.



а) б)

Рис. 4.6. Інтерфейс мобільного застосунку експерта-волонтера. а) вікно з даними експерта-волонтера; б) інтерфейс для введення даних в систему

Під час проектування мобільної СППР було розроблено діаграми послідовностей для уточнення класів. На рисунку 4.7 представлена діаграма

послідовностей, яка відповідає прецеденту «Отримання рішення зі зміненими даними».

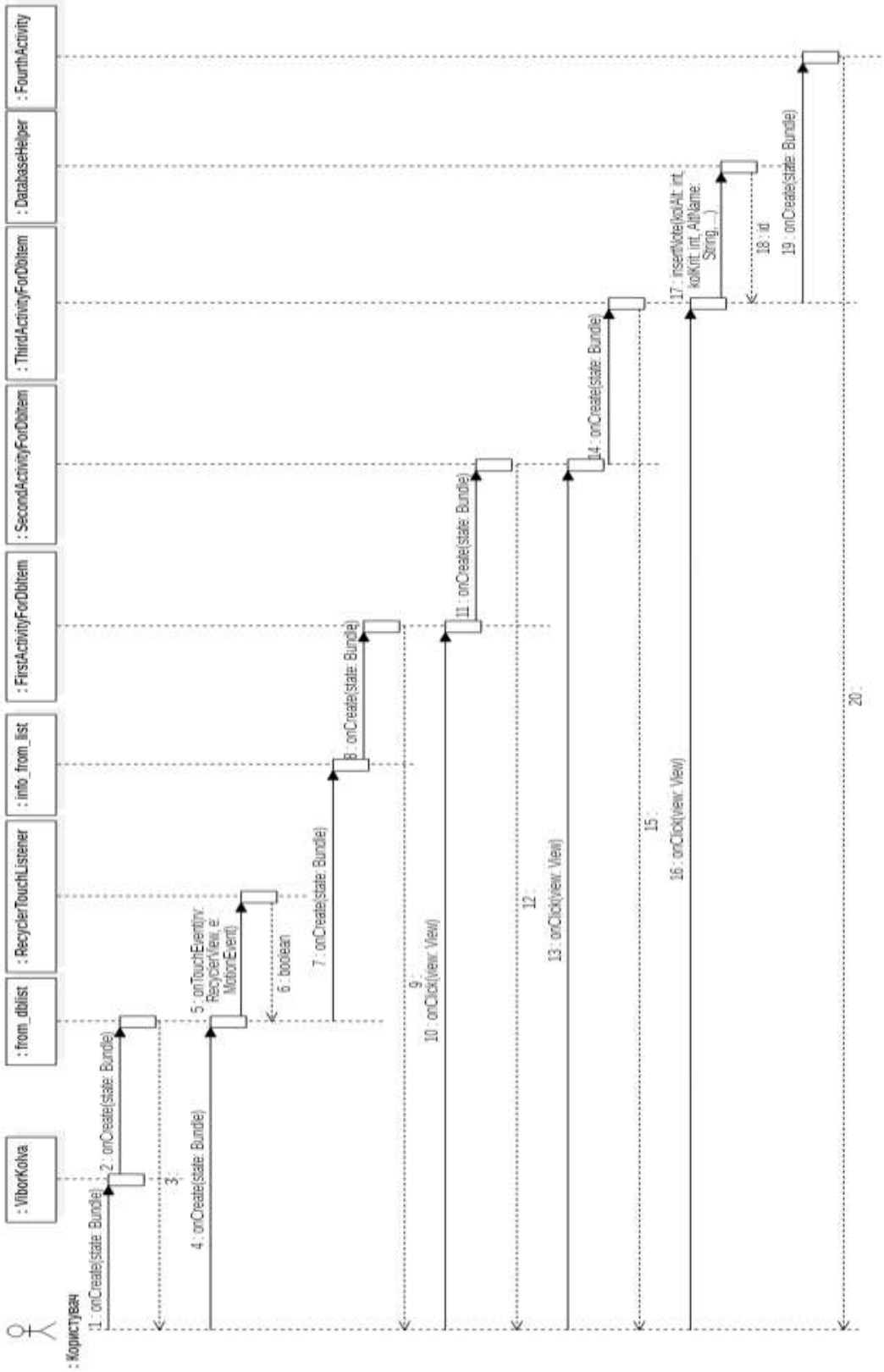


Рис.4.7. Діаграма послідовностей

Структура бази даних відображена на рисунку 4.8. База даних складається з однієї таблиці з назвою "notes" (записи). Для створення бази

даних для мобільної СППР використовувалася реляційна система керування базами даних SQLite [108]. SQLite втілена у вигляді бібліотеки, де реалізовано багато зі стандарту SQL-92, яка є третьою версією мови запитів до баз даних SQL.

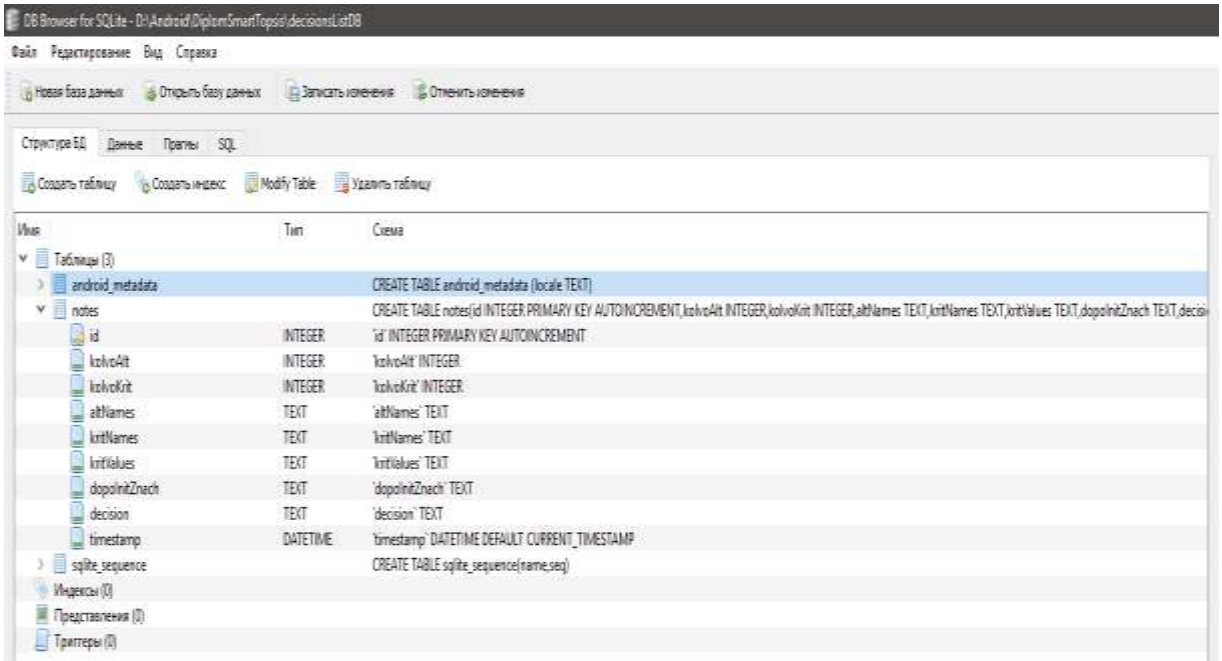


Рис.4.8. Структура бази даних

Таблиця має наступні поля:

id – первинний ключ;

kolvoAlt – кількість альтернатив;

kolvoKrit – кількість критеріїв;

altNames – назви альтернатив;

kritNames – назви критеріїв;

kritValues – числові оцінки альтернатив за критеріями;

dopolnitZnach – оцінка важливості критерію та визначення дії над критеріями (максимізація або мінімізація);

decision – розв’язок;

timestamp – час запису розв’язку до бази даних.

4.3 Випробування мобільної СППР для вирішення оперативного завдання транспортної логістики волонтерами

Було розглянуто задачу доставки гуманітарної допомоги з м. Одеса до м. Миколаїв. Було досліджено 5 маршрутів (див. рис. 4.9), які на гугл мапі показані різними кольорами: першому маршруту довжиною 133 км відповідає зелений колір; другому маршруту довжиною 132 км відповідає жовтий колір; третьому маршруту довжиною 214 км відповідає бірюзовий колір; четвертому маршруту довжиною 145,54 км відповідає ліловий колір; п'ятому маршруту довжиною 216 км відповідає сизий колір.

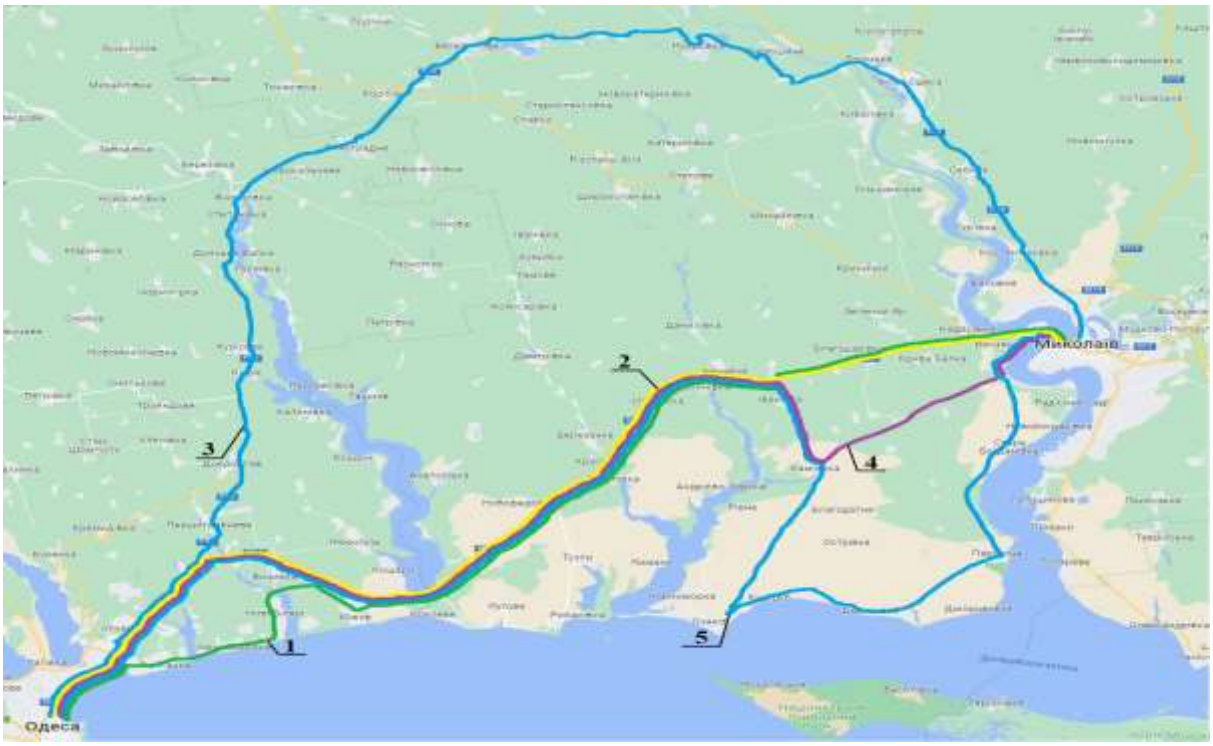


Рис.4.9. Гугл мапа з указанням доступних маршрутів

Кожен маршрут розбито на ділянки за якими закріплено експерт-волонтер. Так, перший маршрут розбито на 7 ділянок, другий - на 8 ділянок, третій на 11 ділянок, четвертий на 7 ділянок, п'ятий на 11 ділянок. Відповідну інформацію щодо стану ділянок доріг експерти волонтери вносять в систему.

На рисунку 4.10 показано закріплення експертів волонтерів за відповідними ділянками маршрутів.

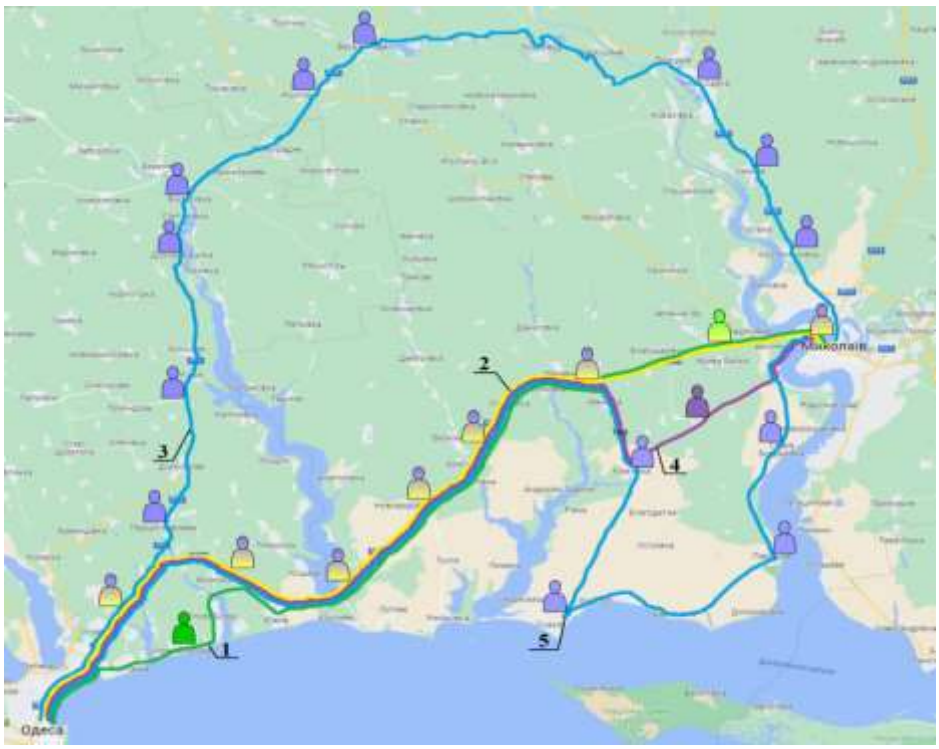


Рис.4.10. Гугл мапа маршрутів з закріпленими волонтерами за відповідними ділянками

На рисунку 4.11 показані вікна, які відображають перше вікно користувацького інтерфейсу мобільного застосунку трьох експертів-волонтерів з внесеними даними щодо стану відповідної ділянки першого маршруту: якості дорожнього покриття, наявності небезпеки, можливості заправки та ремонту техніки.

Після внесення відповідей, експерт-волонтер натискає кнопку “Відправити результати” (рис. 4.11) і дані відправляються у вигляді СМС в систему прийняття рішення, що знаходиться на телефоні координатора команди волонтерів.

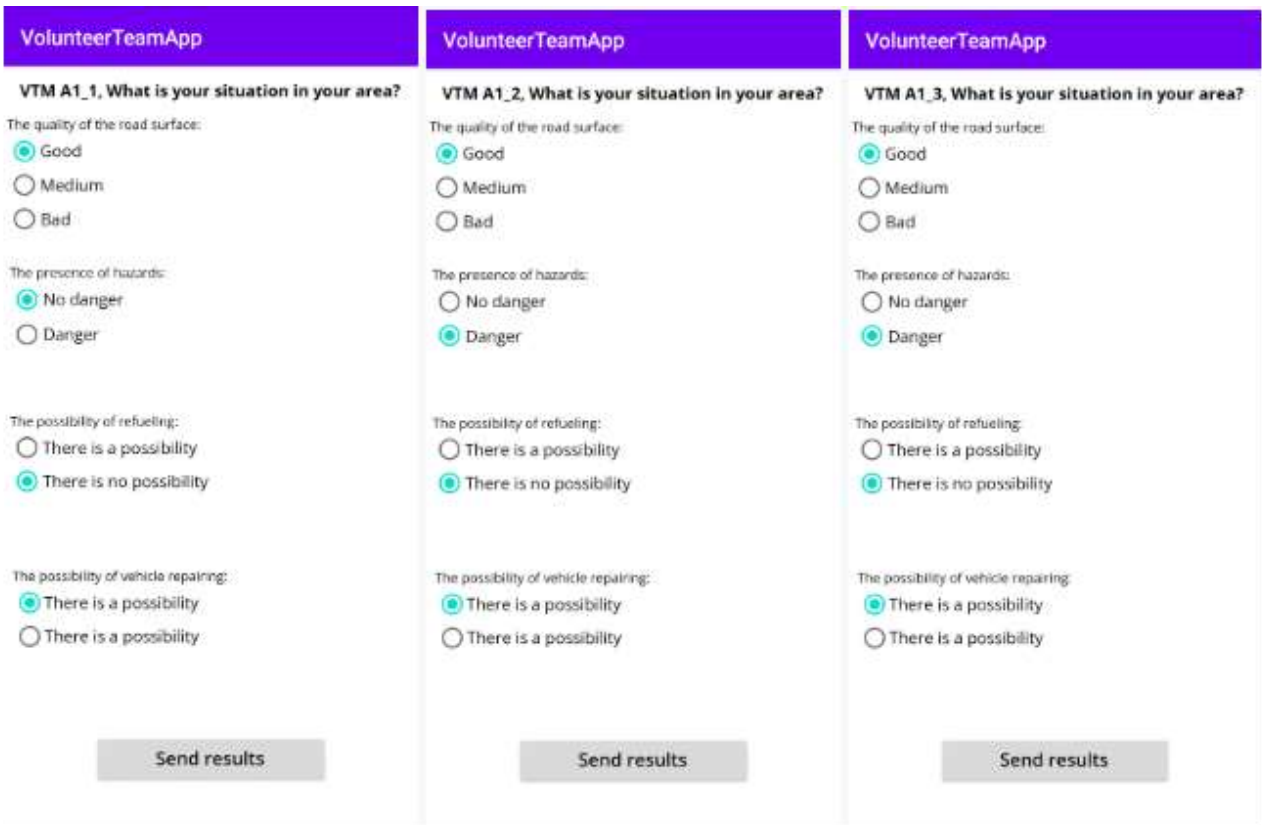


Рис.4.11. Вікна інтерфейсу мобільного застосунку експертів-волонтерів

Приклад вікна мобільного застосунку системи, який встановлено на пристрої координатора команди волонтерів з даними, які надійшли від експертів волонтерів показано на рисунку 4.12.

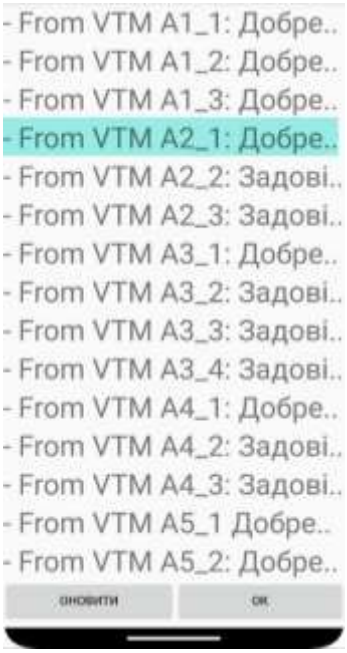
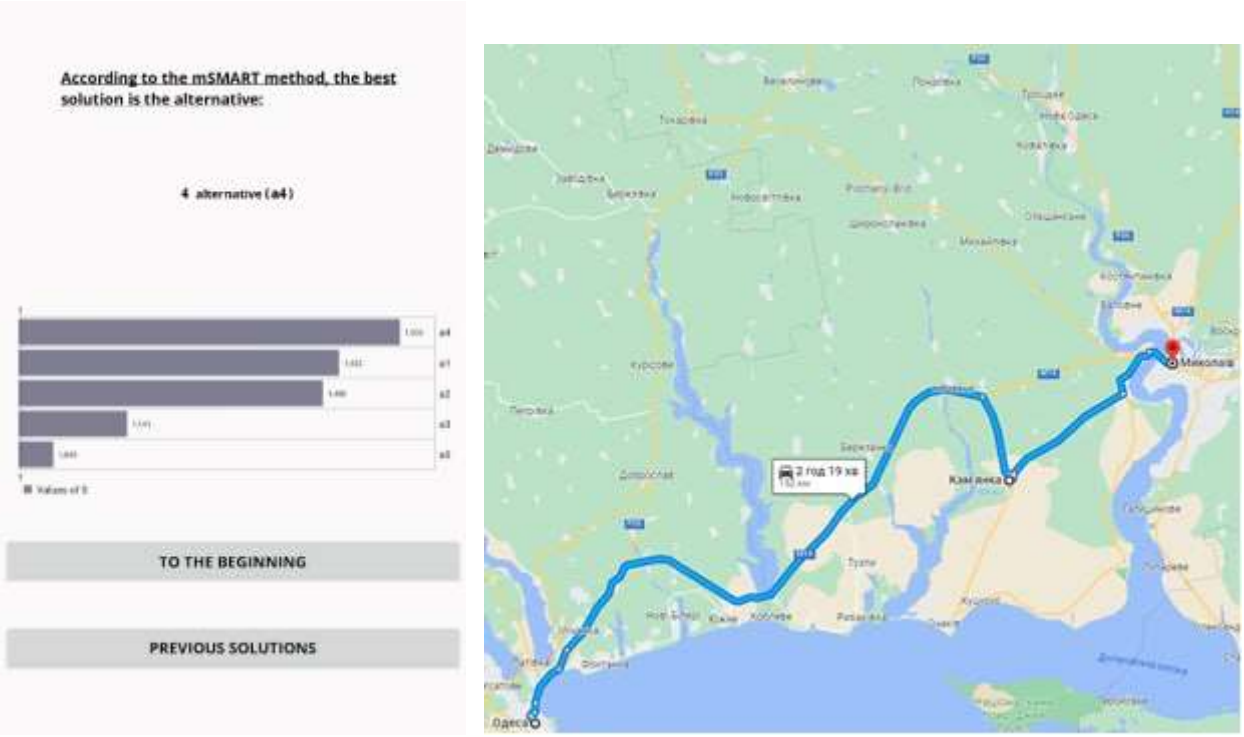


Рис.4.12. Вікно інтерфейсу мобільного застосунку координатора команди волонтерів

За натисканням кнопки "Оновити" (рис. 4.12) дані з СМС заносяться у базу даних мобільного за стосунку координатора команди волонтерів. Для розрахунку загальних оцінок маршрутів з яких обирається найкращий, ОПР вводить в систему кількість альтернатив та критеріїв; оцінки за критеріями: відстань та середня швидкість; завантажує з бази даних дані отримані від експертів-волонтерів (рис. 4.13). Далі за розробленим в роботі та реалізованим в системі методом mSmart, якісні оцінки альтернатив за критеріями автоматично перетворюються у кількісні і усереднюються. Після введення всіх даних, щодо стану маршрутів, ОПР натискає кнопку "Get a solution" (рис. 4.13 а) і отримує вікно з впорядкованими альтернативами (маршрутами). Найкращий маршрут має найбільшу загальну оцінку і розташовано вище інших альтернатив (рис. 4.14 б).

а) б) в)

Рис. 4.13. Вікно інтерфейсу мобільного застосунку координатора з даними за маршрутами



а) б)

Рис. 4.14. Вікно інтерфейсу з впорядкованими альтернативами

В результаті застосування мобільної системи вибору найкращого рішення командою волонтерів отримано, що найкращим маршрутом є 4 маршрут.

Встановлено, що час отримання рішення склав 2 хв. В результаті розрахунків отримано, що найкращим маршрутом є четвертий маршрут.

Проведено моделювання для порівняння часу доставки вантажу у разі коли координатор команди волонтерів обрав один з двох варіантів щодо вибору найкращого маршруту:

Варіант 1: не застосував мобільну СППР для підтримки прийняття рішення;

Варіант 2: застосував мобільну СППР для підтримки прийняття рішення.

У разі обрання Варіанту 1, координатор команди волонтерів порівняв маршрути за відстанню і обрав для транспортування маршрут з найменшою відстанню - другий маршрут (довжина 132 км). Передбачався загальний час,

який дорівнював 2,25 години. Але на сьомій ділянці маршруту мало місце наявність небезпеки на ділянці маршруту, внаслідок чого волонтери - виконавці обирають за Гугл мапою четвертий маршрут, витратив час на обрання безпечного маршруту. Проїхав 10 хвилин за четвертим маршрутом виявилось, що на маршруті також виявлена наявність небезпеки і волонтери-виконавці змінюють маршрут на п’ятий, витратив час на обрання безпечного маршруту. В таблиці 4.1. представлені етапи прийняття рішення і час доставки вантажу під час руху за другим маршрутом. Загальний час склав 3, 05 години.

Таблиця 4.1 Етапи прийняття рішення і час доставки вантажу

Рух за маршрутом	Витрати часу
Команда волонтерів-виконавців виконує рух основним за другим маршрутом до виявлення наявності небезпеки	1,35 год
Волонтери-виконавці обирають за Гугл мапою четвертий маршрут	5 хв
Команда волонтерів-виконавців виконує рух за четвертим маршрутом до виявлення наявності небезпеки	10 хв
Волонтери-виконавці обирають за Гугл мапою п’ятий маршрут	5 хв
Команда волонтерів-виконавців виконує рух за п’ятим маршрутом	1,10 год
Загальний час руху команди волонтерів-виконавців	3,05 год

У разі обрання Варіанту 2, передбачалось, що загальний час руху за четвертим маршрутом становить 2,19 годин. В таблиці 4.2. представлені етапи прийняття рішення і час доставки вантажу під час руху за четвертим маршрутом. Загальний час склав 2, 44 години.

Таблиця 4.2 Етапи прийняття рішення і час доставки вантажу

Етапи прийняття рішення	Час виконання етапу	Час руху
Координатор команди волонтерів отримує координати точок відправлення та доставки ресурсу. За допомогою Гугл мап вибираються 5 маршрутів.	2 хв	
Встановлюється стійкий зв'язок з експертами-волонтерами. Експерти - волонтери оцінюють показники ділянки за якою вони закріпленні	8 хв	
Система збирає відповіді від експертів-волонтерів.	5 хв	
Координатор формує вектор показників оцінки поточного стану кожного маршруту у мобільній СППР	3 хв	
На підставі методу mSmart координатор КВ обирає найкращий маршрут (четвертий маршрут).	2 хв	
Маршрут, який отримав ранг 2 у методі mSmart, обирається як резервний (четвертий маршрут).	0 хв	
Експерти-волонтери на ділянках маршрутів, які отримали ранг менше 2, відключаються від зв'язку.	0 хв	
Експерти-волонтери на ділянках основного маршруту (ранг 1) та резервного маршруту (ранг 2) залишаються на зв'язку.	0 хв	
Команда волонтерів-виконавців починає рух основним маршрутом.	30 хв	
Від волонтера на сьомої ділянки другого маршруту надходить повідомлення ALARM, де вказано про наявність небезпеки на ділянці маршруту	Через 30 хв від початку руху	
Координатор перераховує рішення зі зміненими	1 хв	

даними від волонтера і передає команду волонтерам-виконавцям про зміну маршруту на резервний маршрут (п’ятий маршрут)		
На підставі методу mSmart ОПР (координатор КВ) обирає новий найкращий маршрут та повідомляє волонтерів-виконавців про необхідність змінити маршрут.	5 хв	
Команда волонтерів-виконавців досягла точки зміни маршруту		1,44 год
Команда волонтерів-виконавців продовжила рух за 5 маршрутом		1 год
Загальний час руху команди волонтерів-виконавців		2,44 год

Таким чином, отримали, що використання мобільної СППР командою волонтерів зменшило час доставки вантажу в 1,2 рази.

Для оцінки оперативності прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики було проведено тестування, під час якого було порівняно час на отримання експертних даних і час на прийняття рішень для 10 маршрутів з м. Одеса в м. Миколаїв. Дані тестування наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Шкала для вимірювання оцінок, що є номінальними

№	Назва маршруту	Кількість ділянок	Час збору інформації експертами-волонтерами	Час прийняття рішення		Загальний час прийняття рішення
				Час формування колективної оцінки	Час розрахунку в системі	
1	Маршрут №1	7	5 хв	1 хв	3 хв	4 хв
2	Маршрут №2	8	5 хв	1 хв	3 хв	4 хв
3	Маршрут №3	11	8 хв	2 хв	3 хв	5 хв
4	Маршрут №4	7	5 хв	1 хв	3 хв	4 хв

Продовження таблиці 4.3

5	Маршрут №5	11	8 хв	2 хв	3 хв	5 хв
6	Маршрут №6	12	9 хв	2 хв	3 хв	5 хв
7	Маршрут №7	14	9 хв	2 хв	3 хв	5 хв
8	Маршрут №8	9	5 хв	1 хв	3 хв	4 хв
9	Маршрут №9	8	5 хв	1 хв	3 хв	4 хв
10	Маршрут №10	14	9 хв	2 хв	3 хв	5 хв

Встановлено, що загальний час прийняття рішення координатором команди волонтерів, який є сумарним часом на формування колективної оцінки і часом розрахунку в системі, в середньому склав 4,5 хв. При цьому середній час збору інформації склав в середньому 6,8 хв. Отримано, що максимальний загальний час прийняття рішення (5 хв) не перевищує найменший час збору інформації експертами-волонтерами (5 хв). Таким, чином, експериментальні випробування показали, що розроблена мобільна СППР команди волонтерів працює в реальному часі.

Тестування системи показало, що вона дозволяє команді волонтерів отримати рішення щодо вибору найкращого маршруту в реальному часі, що підвищує оперативність прийняття рішення командою волонтерів під час прийняття рішення. Таким чином підтверджено спроможність та правильність технічних рішень, заснованих на результатах дисертаційного дослідження.

4.4 Висновки до четвертого розділу

В роботі розроблено мобільну систему для підтримки прийняття рішень волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики в умовах динамічних змін зовнішнього середовища. Для розробки

мобільної СППР на основі запропонованих в роботі: концептуальної моделі оцінки стану маршруту; методу формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами; методу багатокритеріального експертного оцінювання mSmart; методу прийняття рішень командою волонтерів розроблена архітектура мобільної СППР, яка є клієнт-серверною. Розроблено проект програмної реалізації СППР у вигляді UML діаграм.

Мобільна СППР розроблена мовою Java для платформи Android у середовищі розробки Android Studio. Для створення бази даних для СППР використовувалася реляційна система керування базами даних SQLite.

Розроблено інтерфейс користувачів через який відбувається взаємодія між мобільною СППР і ОПР. Також розроблено підсистему управління повідомленнями, що дозволило координатору команди волонтерів відправляти результати розрахунків через Internet або за допомогою SMS. Розроблена підсистема взаємодії з базою даних дозволяє ОПР зберігати рекомендації, редагувати дані, видаляти дані.

Розроблена мобільна СППР командою волонтерів оперативних завдань транспортної логістики в умовах динамічних змін зовнішнього середовища застосована під час знаходження найкращого логістичного маршруту в реальних умовах. Встановлено, що для введення та отримання рішення ОПР витрачає в середньому 2 хв. Під час тестування системи встановлено, що загальний час прийняття рішення координатором команди волонтерів в середньому склав 4,5 хв, а середній час збору інформації склав в середньому 6,8 хв. Отримано, що максимальний загальний час прийняття рішення (5 хв) не перевищив найменший час збору інформації експертами-волонтерами (5 хв). Таким, чином, доведено, що розроблена мобільна СППР команди волонтерів дозволяє координатору КВ отримувати рішення в реальному часі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено науково-технічне завдання підвищення оперативності прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики при збереженні достовірності шляхом розробки моделей та методів прийняття рішень команди волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики.

1. Проведений аналіз існуючих методів прийняття рішень у завданнях транспортної логістики та їх особливості в умовах обстановки, що динамічно змінюється показав що, існуючі моделі та методи підтримки прийняття рішення командою волонтерів, не забезпечують необхідної для практики оперативності при знаходженні найкращого маршруту в задачі оперативної транспортної логістики, що знижує ефективність роботи команди волонтерів під час рішення завдань оперативної транспортної логістики.

2. Розроблено концептуальну оцінки стану маршруту при вирішенні завдання транспортної логістики в умовах нестійкої ситуації, яка відрізняється від існуючих тим, що враховує динамічні зміни стану зовнішнього середовища у вигляді експертних оцінок щодо поточного стану відповідної ділянки маршруту, отриманих від членів команди волонтерів, які закріплені за відповідними ділянками маршруту, що дозволило розподілити функції між членами команди, підвищити оперативність та достовірність поточної оцінки стану маршрутів.

3. В результаті експертного опитування координаторів команд волонтерів було визначено наступні показники для оцінки експертами-волонтерами: середня швидкість руху по ділянці маршруту, якість дорожнього покриття, наявність пунктів заправки автотранспорту пальним, наявність пунктів ремонту автотранспорту, наявність стійкого зв'язку наявність укриттів та захисних споруд, наявність медичних установ та засобів швидкої медичної допомоги, наявність регулярних загроз доступності маршруту. Оцінки даних показників представляються різними типами даних

(кількісні, якісні, релейні). Для агрегації отриманих від експертів-волонтерів оцінок щодо поточного стану ділянок маршрутів удосконалено метод формування колективної оцінки поточного стану маршруту.

4. Удосконалено і досліджено метод багатокритеріального експертного оцінювання SMART (mSmart). Дослідження показали, що удосконалений метод дозволив знизити обчислювальну складність у разі застосування методу mSmart в порівнянні з методом AHP в 1,14 - 3,54 разів. Таким чином отримано суттєвий обчислювальний виграш методу mSmart порівняно з AHP, що зменшує витрати часу і підвищує оперативність рішення.

5. Удосконалено метод прийняття рішень командою волонтерів при вирішенні оперативних завдань транспортної логістики, який враховує динамічну зміну обстановки та використання для формування колективної оцінки поточного стану маршруту непрофесійними експертами-волонтерами, що дозволило побудувати систему підтримки прийняття рішень для команди волонтерів та контролю протікання операції під час виконання оперативних завдань транспортної логістики у реальному масштабі часу.

6. Розроблено та експериментально досліджено мобільну систему для підтримки прийняття рішень командою волонтерів під час виконання транспортної операції. Для перевірки працездатності застосунку і оцінки оперативності його роботи було розглянуто завдання доставки гуманітарної допомоги з м. Одеса до м. Миколаїв. Було отримано що час отримання рекомендацій за допомогою розробленої мобільної СППР склав в середньому 2 хвилини, що є достатнім для команди волонтерів.

7. Розроблені в роботі методи та інструментальні засоби отримали впровадження у діяльності благодійного фонду «Шлях до свободи» (м. Одеса) (Додаток Ж) та знайшли відображення у навчальному процесі та науковій діяльності Національного університету «Одеська політехніка» (Додаток В) та при виконанні проекту «A novel and reliable Decision Support System (DSS) on recovery route selection in transport logistics for volunteer teams» (Додаток Д).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тохтарова І. Волонтерський рух в Україні: шлях до розвитку громадянського суспільства як сфери соціальних відносин / І. Тохтарова // Теорія та практика державного управління і місцевого самоврядування, - 2014 р. - No 2, - С. 48 – 61.

2. Закон України «Про волонтерську діяльність»: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3236-17#Text.

3. Козачук, М. Б. (2016). Нові види волонтерства в Україні як відповідь на виклики часу. ВІСНИК НТУУ «КПІ». Політологія. Соціологія. Право. Випуск 1/2(29/30). - С. 52-57.

4. ПАНЬКОВА, О., & КАСПЕРОВИЧ, О. (2022). Український волонтерський рух в умовах збройної російської агресії в контексті національних та глобальних викликів і можливостей післявоєнного відновлення країни. Журнал європейської економіки, 21(3), 277-294.

5. Підгайна, В. В. (2023). Волонтерський рух в умовах повномасштабної війни в Україні. Актуальні проблеми сучасної науки в дослідженнях молодих учених, курсантів та студентів: тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф.(м. Вінниця, 17 травн. 2023 р.).–Вінниця: ХНУВС, 2023.–С. 423-426.

6. Балачіна, Єлизавета, and Ольга Джур. "ОРГАНІЗАЦІЯ ДІЯЛЬНОСТІ ВОЛОНТЕРСЬКИХ ОРГАНІЗАЦІЙ В УМОВАХ ВІЙНИ." *Економічні горизонти* 4 (22) (2022): 88-99.

7. Paladych, O., Varenia, N., & Lazareva, A. (2021). Modern Development of The Volunteer Movement In Ukraine. Pedagogy and education management review, (2), 11-20. https://doi.org/10.36690/2733-2039-2021-2-11

8. Рябчук, О., & Софія, С. (2022). Логістика україни в умовах війни. Розвиток обліку, аудиту та оподаткування в умовах інноваційної трансформації соціально-економічних систем. *Матеріали*, 5 (84), 238-240.

9. Мікуліна, М. О., Клєщ, О. В., Метенко, А. С., & Черниш, А. В. (2023). Гуманітарна логістика України в умовах бойових дій. The 6th International scientific and practical conference “Scientific research in the modern world” (April 6-8, 2023) Perfect Publishing, Toronto, Canada. 2023. 204-209 p.

10. Milewski, R. Decision making scenarios in military transport processes [Text] / R. Milewski, T. Smal //Archives of Transport. – 2018. – Vol. 45, Iss. 1. – P. 75-91. DOI:10.5604/01.3001.0012.0945.

11. Наконечний, О. Аналіз умов та факторів, що впливають на ефективність функціонування системи логістики сил оборони держави [Текст] / О. Наконечний // Системи управління, навігації та зв’язку. Збірник наукових праць. – 2019. – Т. 3, №. 55. – С. 48-57. DOI: 10.26906/SUNZ.2019.3.048.

12. Федорович, О. Є., Прончаков, Ю. Л., Рибка, К. О., & Лещенко, Ю. О. (2022). Моделювання логістичного процесу евакуації промислового підприємства у воєнний час. С. 84-92. doi: 10.32620/aktt.2022.3.09.

13. Горин, Р. І., Ю. О. Гач, and Олена Анатоліївна Сороківська. "Війна-логістика-волонтери." Матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції пам’яті почесного професора Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, академіка НАН Миколи Григоровича Чумаченка:„Наука, інновації, бізнес: проблеми, перспективи і сьогочасні тренди розвитку “ (2023): 37-38.

14. Kumarage, A.S. (2021). “Transport Logistics: Redefining Logistics in Transport”. Journal of South Asian Logistics and Transport. Volume 1 Issue 2 September 2021 JSALT 1.2.SP, 93-104. http://doi.org/10.4038/jsalt.v1i2.36.

15. Ballou, R. H. Business Logistics/Logistics Management. 6th ed. New York: Prentice Hall, 2004. 952 p.

16. Christopher, M. Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-adding Networks. 4th ed. London: Financial Times Prentice Hall, 2005. 448 p.

17. Coyle, J. J., Bardi, E. J., Langley Jr., C. J. Supply Chain Management: A

Logistics Perspective. 6th ed. Mason, OH: South-Western Cengage Learning, 2012. 688 p.

18. Dantzig, G. B., Ramser, J. The Truck Dispatching Problem. Management Science. 1959. Vol. 6, No. 1. P. 80-91.

19. Klose, A., Meisel, R., Schmidt, J.-H. Optimization of Transportation Networks: Models, Algorithms, and Software. Berlin: Springer, 2009. 344 p.

20. Бережна Н.Г., Біляєва О.С., Войтов В.А., Горяїнов О.М., Карнаух М.В., Кравцов А.Г., Кутья О.В., Музильов Д.О., Шраменко Н.Ю. Проблеми транспортно-логістичного забезпечення в аграрній галузі. Монографія. – Харків: Міськдрук, 2019. – 180 с

21. Шаповалова Олена, Камардін Антон, Петухова Олена. Система підтримки прийняття рішень при виконанні логістичних завдань. Системи обробки інформації. 2018. № 3(154). С. 57-63. https://doi.org/10.30748/soi.2018.154.08.

22. Руденко, Б. К. (2020). Модифікований алгоритм пошуку найкоротшого шляху в системі транспортної логістики. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційні технології та системи”: тези доповідей, 9-10 квітня 2020 р. – Х.: ХНЕУ імені Семена Кузнеця, с. 23.

23. Іксанов О.М., Шевченко В.І. Транспортна задача, її властивості та методи розв’язування. Навчальний посібник. Наукове видавництво "ТВіМС". 2010. 84 с.

24. Данчук, В. Д., Сватко, В. В., Данчук, В. Д., & Сватко, В. В. (2012). Оптимізації пошуку шляхів по графу в динамічній задачі комівояжера методом модифікованого мурашиного алгоритму. *System Research & Information Technologies,* 2012, № 2. С. 78-86.

25. Бабкін, Ю. В., Климась, Д. Ю., Баля, А. С., Гусарова, О. К., Литовченко, О. М., & Винокуров, М. О. (2021). Оптимізація логістичного забезпечення підрозділу колісної та гусеничної техніки як цілочисельна задача лінійного програмування транспортного типу. Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ». – 2021, С.97-99.

26. Gothi, M. M., Patel, R. G., & Patel, B. S. (2021). A concept of an optimal solution of the transportation problem using the weighted arithmetic mean. *Adv. Math. Sci. J*, *10*(3), 1707-1720. DOI: 10.37418/amsj.10.3.52

27. Альбощій, О. В., Білецький, О. В. Я., & Павленко, С. О. (2021). Обґрунтування ефективного варіанта постачання питної води до підрозділів при виконанні завдань за призначенням. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*, *1*(37), 5-11. DOI: https://doi.org/10.33405/2409-7470/2021/1/37/237818.

28. Серая О.В. Многомерные модели логистики в условиях неопределенности / О.В. Серая. – Х.: ФОП Стеценко, 2010. – 512 с.

29. Худов Г. В., Хижняк І. А., Марченко В. П., Горошко О. О. Метод визначення маршруту руху транспортних засобів з використанням модифікованого алгоритму мурашиної колонії. Системи обробки інформації. 2022. № 3 (170). С. 58-66. https://doi.org/10.30748/soi.2022.170.08.

30. Подоляка, О. А., & Подоляка, А. М. (2021). Розв’язання двокритеріальної транспортної задачі на основі блокової нормалізації критеріїв. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 1(92), 60-60. DOI: https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.60.

31. Ambroziak, T., Malesa, A., & Kostrzewski, M. (2018). Analysis of multicriteria transportation problem connected to minimization of means of transport number applied in a selected example. WUT J. Transp. Eng, 123, 5-20. DOI: 10.5604/01.3001.0013.7349.

32. Raskin, L., Sira, O., & Parfeniuk, Y. (2017). Analysis and development of compromise solutions in multicriteria transport tasks. Технологический аудит и резервы производства, 6(2 (38)), 13-18. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2017_6%282%29__3.

33. Birge, J. R., Louveaux, F., Birge, J. R., & Louveaux, F. (2011). Monte

Carlo Methods. Introduction to Stochastic Programming, 389-415.

34. Raskin, L., Parfeniuk, Y., Sukhomlyn, L., Kravtsov, M., & Surkov, L. (2021). A Method For Solving The Canonical Problem Of Transport Logistics In Conditions Of Uncertainty. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, (2 (16)), 80-88. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.16.080

35. Akhiezer, O., Dunaevskaya, O., Serdyuk, I., Strelnikova, A., & Harmash, D. (2018). Методы решения многоиндексных транспортных задач высокой размерности. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, 4(50), 57-61. DOI: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.4.057.

36. Косолап, А. І. (2018). Розв'язування квадратичної задачі про призначення. Математичне моделювання, (2 (39)), 79-88. DOI: https://doi.org/10.31319/2519-8106.2(39)2018.154222.

37. Swoboda, P., & Kolmogorov, V. (2019). MAP inference via block-coordinate Frank-Wolfe algorithm. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 11146-11155).

38. Матвійчук, А. (2010). Моделювання фінансової стійкості підприємств із застосуванням теорій нечіткої логіки, нейронних мереж і дискримінатного аналізу. *Вісник НАН України*. С.24-46.

39. Гайванович, Н. (2020). Використання теорії масового обслуговування для управління логістичним забезпеченням проєктів. *Економіка та суспільство*, (22). DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2020-22-1.

40. Kucharik M. Modeling of Uncertainty with Petri Nets / M.Kucharik, Z. Balogh –Nitra, Slovaki: Department of Informatics, Faculty of Natural Sciences,Constantine the Philosopher University in Nitra,Tr. A. Hlinku 2019. pp. 499-509.

41. Кононюк А.Ю. К65 Нейроні мережі і генетичні алгоритми – К.:«Корнійчук», 2008. – 446 с.

42. Троцько, В. В., & Чернозубкін, І. О. (2021). Комбінування жадібного алгоритму з методом Монте-Карло для вирішення завдань

логістики, в основі яких лежить задача комівояжера. *Вчені записки Університету «КРОК»*, (2 (62)), 125-131.

43. Данчук, В. Д., & Сватко, В. В. (2010). Оптимізація пошуку шляхів по графу в задачах логістики методом модифікованого мурашиного алгоритму. *Вісник [Національного транспортного університету]*, (20), 109-114.

44. Репіч, Т. А. "Особливості використання логістичної концепції у логістиці кризових ситуацій." *Ефективна економіка*, 3 (2020), DOI: 10.32702/2307-2105-2020.3.54.

45. Waller, S. T., Qurashi, M., Sotnikova, A., Karva, L., & Chand, S. (2023). Analyzing and Modeling Network Travel Patterns During the Ukraine Invasion Using Crowd-Sourced Pervasive Traffic Data. *Transportation Research Record*, *2677*(10), 491-507. https://doi.org/10.1177/03611981231161622

46. Dulebenets, Maxim A., et al. "Multiobjective optimization model for emergency evacuation planning in geographical locations with vulnerable population groups." *Journal of Management in Engineering* 36.2 (2020): 04019043. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000730

47. Бовда В.Е., Петрі-об’єктне моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах / В.Е. Бовда, І.В. Стеценко, Е.М. Бовда – Україна, Київ: Збірник наукових праць ВІТІ № 3 2019. С. 6-15.

48. Бовда В.Е., Система моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах/ В.Е. Бовда, І.В. Стеценко, Е.М. Бовда – Україна, Київ: Збірник наукових праць ВІТІ № 4 2019. С. 6-15.

49. Бовда В.Е. Петрі-об’єктна модель транспортних перевезень матеріальних засобів у військових підрозділах / В.Е. Бовда // Матеріали XII науково-практичної конференції «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів,засобів зв’язку та автоматизації в операції Об’єднаних сил»,14 – 15 листопада 2019 р. – С. 42-43.

50. Стеценко І. В. Петрі-об’єктна модель системи управління

транспортним рухом / І.В. Стеценко – Україна, Київ: Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : Зб. наук. пр., 2011. № 54. – С. 116–125.

51. Генетичні алгоритми як обчислювальні методи скінченновимірної оптимізації / Н.М. Гулаєва, В.П. Шило, М.М. Глибовець // Кібернетика та комп'ютерні технології: Зб. наук. пр. — 2021. — № 3. — С. 5-14.

52. Налобіна, О., Бундза, О., Голотюк, М., & Шимко, А. (2023). Концептуальна модель оперативного управління транспортною системою в умовах воєнного стану. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, *1*(20), 176-185.

53. Ma, W., Du, Y., Liu, X., & Shen, Y. (2022). Literature review: Multi-criteria decision-making method application for sustainable deep-sea mining transport plans. Ecological Indicators, 140, 109049. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109049.

54. Karbassi Yazdi, A., Mehdiabadi, A., Wanke, P. F., Monajemzadeh, N., Correa, H. L., & Tan, Y. (2022). Developing supply chain resilience: a robust multi-criteria decision analysis method for transportation service provider selection under uncertainty. International Journal of Management Science and Engineering Management, 1-14. DOI: https://doi.org/10.1080/17509653.2022.2098543

55. Kamran, S. M., Bilal, K. M., Jawed, I., & Muhammad, A. (2018). Multicriteria Decision Making (MCDM) for evaluation of different transportation alternatives: A case of Rawalpindi bypass Pakistan. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 3(3 (6)), 38-54. DOI: 10.14254/jsdtl.2018.3-3.3.

56. Saksrisathaporn, Krittiya, et al. "Application of a decision model by using an integration of AHP and TOPSIS approaches within humanitarian operation life cycle." International Journal of Information Technology & Decision Making 15.04 (2016): 887-918.

57. Stopka, O., Stopková, M., Lupták, V., & Krile, S. (2020). Application of the chosen multi-criteria decision-making methods to identify the autonomous train

system supplier. Transport problems, 15.pp. 45-57. DOI: https://doi.org/10.21307/tp-2020-019.

58. Bulut, E., & Duru, O. (2018). Analytic hierarchy process (AHP) in maritime logistics: theory, application and fuzzy set integration. Multi-Criteria Decision Making in Maritime Studies and Logistics: Applications and Cases, 31-78.

59. Kijewska, K., Torbacki, W., & Iwan, S. (2018). Application of AHP and DEMATEL Methods in Choosing and Analysing the Measures for the Distribution of Goods in Szczecin Region. Sustainability, 10(7), 2365.

60. Hruška, R., Kmetík, M., & Chocholáč, J. (2021). Selection of the transport mode using the AHP method within distribution logistics of motor fuels. Promet-Traffic&Transportation, 33(6), 905-917.

61. Wang, C. N., Nguyen, N. A. T., Dang, T. T., & Lu, C. M. (2021). A compromised decision-making approach to third-party logistics selection in sustainable supply chain using fuzzy AHP and fuzzy VIKOR methods. Mathematics, 9(8), 886.

62. Ly, T. H., Roh, S., & Jang, H. (2021). Selection of functional logistics service providers: AHP and DEMATEL application.

63. Govindan, K., Kadziński, M., Ehling, R., & Miebs, G. (2019). Selection of a sustainable third-party reverse logistics provider based on the robustness analysis of an outranking graph kernel conducted with ELECTRE I and SMAA. Omega, 85, 1-15.

64. Yannis, G., Kopsacheili, A., Dragomanovits, A., & Petraki, V. (2020). State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. Journal of traffic and transportation engineering (English edition), 7(4), 413-431.

65. Han, H., & Trimi, S. (2018). A fuzzy TOPSIS method for performance evaluation of reverse logistics in social commerce platforms. Expert systems with applications, 103, 133-145.

66. Altuntas, G., & Yildirim, B. F. (2022). Logistics specialist selection with

intuitionistic fuzzy TOPSIS method. International Journal of Logistics Systems and Management, 42(1), 1-34.

67. Martins, V. W. B., Nunes, D. R. D. L., Melo, A. C. S., Brandão, R., Braga Júnior, A. E., & Nagata, V. D. M. N. (2022). Analysis of the Activities That Make Up the Reverse Logistics Processes and Their Importance for the Future of Logistics Networks: An Exploratory Study Using the TOPSIS Technique. Logistics, 6(3), 60.

68. Luyen, L. A., & Thanh, N. V. (2022). Logistics service provider evaluation and selection: Hybrid servqual–fahp–topsis model. Processes, 10(5), 1024.

69. Aláč, P. (2019). Multi criteria decision making model for logistics processes in particular enterprise. System Safety: Human-Technical Facility-Environment, 1(1), 522-531. doi: 10.2478/czoto-2019-0067.

70. Kechagias, E. P., Gayialis, S. P., Konstantakopoulos, G. D., & Papadopoulos, G. A. (2020). An application of a multi-criteria approach for the development of a process reference model for supply chain operations. Sustainability, 12(14), 5791.pp. 1-19. doi:10.3390/su12145791.

71. E. Onder and S. Dag, Combining analytical hierarchy process and topsis approaches for supplier selection in a cable company, Journal of Business, Economics and Finance 2 (2013) 56–74, Available at SSRN: http://ssrn.com/abstract=2382475.

72. P. W. Bhutia and R. Phipon, Application of AHP and Topsis method for supplier selection problem, IOSR Journal of Engineering 2 (2012) 43–50.

73. L. Gao and A. Hailu, Identifying preferred management options: An integrated agentbased recreational ¯shing simulation model with an AHP-topsis evaluation method, Ecological Modelling 249 (2013) 75–83.

74. Нікуліна, О. М. Розробка інформаційної технології оптимізації управління складними динамічними системами /О. М. Нікуліна, В. П. Северин, Н. В. Коцюба // Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – № 2 (4). – С. 63–69.

75. Шаповалова, О. О., Камардін, А. С., & Петухова, О. А. (2018).

Система підтримки прийняття рішень при виконанні логістичних завдань. *Системи обробки інформації*, (3), 57-63.

76. M. Safeer, S.P. Anbuudayasankar, Kartik Balkumar, K. Ganesh, Analyzing Transportation and Distribution in Emergency Humanitarian Logistics, Procedia Engineering, Volume 97, 2014, Pages 2248-2258, ISSN 1877-7058, https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.469

77. Горінов Павло, Драпушко Ростислав. Волонтерська діяльність в Україні: соціально-правове дослідження: монографія / Павло Горінов, Ростислав Драпушко. Київ: Державний інститут сімейної та молодіжної політики, 2022. 240 с.

78. Антощук В.М., Філіппов В.Ю. Інформаційне забезпечення підтримки управлінських рішень на основі інсайдерської експертної оцінки. Економічний журнал Одеського політехнічного університету. 2020, 14: 109-114.

79. Сухомлин, Л. В. (2020). Застосування інформаційних технологій для удосконалення внутрішніх логістичних процесів компанії. *Інвестиції: практика та досвід*, (24), 44-50. DOI: 10.32702/2306-6814.2020.24.44

80. Антощук В.М.,Болтьонков В.О., Куваєва В. І. Теоретико-методичний підхід до експертної підтримки управлінських рішень в бізнес-структурах // European scientific discussions. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. Potere della ragione Editore. Rome, Italy. 2021. P. 505-511.

81. Sakhno, V., Sharai, S., & Poliakov, V. Теоретичні засади використання змішаного методу багатокритеріального аналізу для маршрутизації перевезень вантажів. *Збірник наукових праць українського державного університету залізничного транспорту*, 2019, 188. С.50 – 61.

82. Демська, А. І., & Дерев'янко, І. І. (2019). Аналіз процесу візуалізації інформації для людино-орієнтованого проектування інтерфейсу. Режим доступу https://openarchive.nure.ua/bitstreams/79feeb41-451f-4c61-b53e-285c37576033/download

83. Miller G.A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information / George A. Miller // The Psychological Review. — 1956. — 63(2). — p .81–97.

84. Кущенко О. І. Бізнес-статистика: навчально-методичний посібник. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 116 с.

85. Циганюк В.В. Агрегація групових експертних оцінок, що отримані у різних шкалах // В. В. Циганюк/ Реєстрація, зберігання і оброб. Даних. – 2011. – Т. 13, № 4. С. 74-83.

86. Циганюк В.В. Метод обчислення ваг альтернатив на основі результатів парних порівнянь, проведених групою експертів // Реєстрація, зберігання і обороб. Даних. – 2008. – Т. 10, № 2. С. 121 – 127.

87. Тимур, К., Мурасов, Р., & Мельник, Я. Обчислення надійності системи критичної інфраструктури шляхом декомпозиції її як складної системи. Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”, Vol. 12, No. 5, – 2022, С. 84 – 92.

88. Cincotta, P. M., Giordano, C. M., Silva, R. A., & Beaugé, C. (2021). The Shannon entropy: an efficient indicator of dynamical stability. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 417, 132816

89. Shannon C. E. Communication Theory of Secrecy Systems. The Bell System Technical Journal. 1949. Vol. 28, Iss. 4. P. 656–715.

90. Рябушка, Л. Б., & Веремчук, Д. В. (2008). Аналіз фінансової стійкості підприємств в умовах нестабільного економічного розвитку. *Економічні науки*. Серія Економіка та менеджмент: зб. наук. праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2008. – Вип. 5 (18). – Ч. 2. – С. 190 – 203.

91. Коренівська, Л. В. (2020). Аналіз впливу факторів на розвиток галузі коноплярства на основі методу експертних оцінок. *Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference Science, Education, Innovation:Topical Issues And Modern Aspects, Tallinn, Estonia, 16-18.12.2020*, 213. С. 213-220.

92. Malenkova, O., Nosovskaya, O., Kovalenko, M., & Liamziin, A. (2021).

Диджитализационных оценка эффективности логистической концепции обеспечения экологической безопасности составляющих транспортной системы. *SWorldJournal*, (09-01), 71-77.

93. Кравченко, М. О., & Голюк, В. Я. (2022). Прийняття управлінських рішень. Навчально-методичний комплекс дисципліни. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності «Менеджмент і бізнес-адміністрування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М.О. Кравченко, В. Я. Голюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 120 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 55 с.

94. Бережна, Л., & Снитюк, О. (2021). Рейтингове оцінювання у прийнятті фінансових рішень методами багатокритерійного аналізу. *Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки*, (60), 60-71.

95. Ладик, С., & Базилюк, К. (2022). Використання апарату теорії нечітких множин для оцінювання якості турпродукту. *Інновації та технології в сфері послуг і харчування*, *1*(5), 47-51.

96. Калиниченко, І. О., Антомонов, М. Ю., Латіна, Г. О., Тонкопей, Ю. Л., & Заікіна, Г. Л. Комплексні методики кількісної оцінки здоров'язбережувальної діяльності закладів освіти /Авторський колектив: І. О. Калиниченко, М. Ю. Антомонов, Г. О. Латіна, Ю. Л. Тонкопей, Г. Л. Заікіна // За заг. ред. І. О. Калиниченко. – Суми: ФОП Цьома С. П., 2021. – 236с.

97. “Google Maps”. 2023 г. – Available from: https://www.google.com/maps . – [Accessed: May 2023].

98. Саати T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, first ed., McGraw Hill, New York, 1980. DOI: 10.1002/0470011815.b2a4a002

99. Junior, Francisco Rodrigues Lima; Osiro, Lauro; Carpinetti, Luiz Cesar Ribeiro. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. Applied soft computing, 2014, 21: 194-209. DOI: 10.1016/j.asoc.2014.03.014

100. Zlaugotne, B., Zihare, L., Balode, L., Kalnbalkite, A., Khabdullin, A., Blumberga, D. "Multi-Criteria Decision Analysis Methods Comparison", Environmental and Climate Technologies, 2020; No. 24(1), P. 454–471. DOI:10.2478/rtuect-2020-0028

101. Rahman, Mohammad Anwar; Pereda, Vivian A. Freight transport and logistics evaluation using entropy technique integrated to TOPSIS algorithm. In: *Design Solutions for User-Centric Information Systems*. IGI Global, 2017. p. 63-89. DOI:10.4018/978-1-5225-1944-7.ch004

102. Stopka, O., Stopková, M., Lupták, V., & Krile, S. (2020). Application of the chosen multi-criteria decision-making methods to identify the autonomous train system supplier. *Transport problems*, *15*.pp. 45-57. DOI: https://doi.org/10.21307/tp-2020-019.

103. Akoglu, H. (2018). User's guide to correlation coefficients. Turkish journal of emergency medicine, 18(3), 91-93. doi: 10.1016/j.tjem.2018.08.001.

104. Лисак, І. В. (2021). Система підтримки прийняття рішень щодо управління персоналом на підприємстві.між її компонентами СППР.

105. Брехер, Д. К. (2022). Розробка та дослідження компонентів системи підтримки прийняття рішень для діагностики інфаркту міокарда.

106. Kraemer, F. A. (2011). Engineering android applications based on uml activities. In Model Driven Engineering Languages and Systems: 14th International Conference, MODELS 2011, Wellington, New Zealand, October 16-21, 2011. Proceedings 14 (pp. 183-197). Springer Berlin Heidelberg.

107. Верес, О. М. (2010). Види архітектури систем підтримки прийняття рішень. *Л.: Вид-во Львів. політехніки*, 190-197. дворівневу архітектуру

108. Aditya S.K., Karn V.K. Android SQLite Essentials. *Packt Publishing,* 2014. — 127 p.

Додаток А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Daniil Horpenko; Natalya Volkova; Marina Polyakova; Victor Krylov. 2019. "Development of a mobile decision support system based on the Smart method for Android platform." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 3, no. 2 (99): 6-14. (*Наукове фахове видання України* (*Категорія "А"*), *Scopus*). DOI: 10.15587/1729-4061.2019.168163

2. Horpenko D. R. "A conceptual model of decision-making support of the volunteer team in conditions of dynamic changes". Herald of Advanced Information Technology. 2022; Vol. 5 No. 4: 275–286. (*Наукове фахове видання України* (*Категорія "Б"*)). DOI: 10.15276/hait.05.2022.20.

3. Д. Р. Горпенко, В. О. Болтьонков "Порівняльний аналіз методів рішення оперативних задач транспортної логістики". Інформатика та математичні методи в моделюванні. 2023; Т. 13 No 1-2, 34–47. (*Наукове фахове видання України* (*Категорія "Б"*)). DOI: 10.15276/imms.v13.no1-2.34

4. Horpenko D. R. “Architecture of a mobile transport route selection system by a team of volunteers in the conditions of the military state*”. Herald of Advanced Information Technology*. 2023; Vol. 6 No.2: 174 – 184. (*Наукове фахове видання України* (*Категорія "Б"*)). DOI: 10.15276/hait.06.2023.12

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Y. Kozina, N. Volkova and D. Horpenko, "Mobile Application for Decision Support in Multi-Criteria Problems," *2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2018, pp. 56-59, DOI: 10.1109/DSMP.2018.8478499.

6. Y. Kozina, N. Volkova and D. Horpenko, "Mobile Decision Support System To Take Into Account Qualitative Estimation By The Criteria," *2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*,

Lviv, Ukraine, 2020, pp. 357-361, DOI: 10.1109/DSMP47368.2020.9204134.

7. Горпенко Д. Р. Модель прийняття рішення в задачі оперативної транспортної логістики / Д. Р. Горпенко; В. О. Болтьонков // Modern Information Technology 2022/Сучасні Інформаційні Технології 2022. - Одеса, 2022. - С. 47-48. http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/1279

8. Dadashzadeh, N., Horpenko, D., Volkova, N., Ekmekci, M., Woods, L., & Nikitas, A. (2023). The role of ridesharing in improving transportation resilience during a crisis. In *55th UTSG Annual Conference, 10-12 July 2023, Cardiff, United Kingdom: UTSG2023*. http://surl.li/ljycp

9. Д. Р. Горпенко, В. О. Болтьонков. Модель формування колективної оцінки поточного стану маршруту експертами-волонтерами в умовах динамічної зміни обстановки // Матеріали 1-ї Міжнародної наук. практ. конф. «New ways of creating scientific ideas for implementation», 18-20 вересня 2023 р., Варна, Болгарія. - С. 241-244.

10. Д. Р. Горпенко, В. О. Болтьонков. Метод підтримки прийняття рішень командою волонтерів при виборі найкращого маршруту для вирішення задач оперативної транспортної логістики // Матеріали 1-ї Міжнародної наук. практ. конф. «Distance learning in modern conditions and new technologies», 19-22 вересня 2023 р., Стокгольм, Швеція. - С. 221-224.

11. Д. Р. Горпенко, В. О. Болтьонков. Метод вибору найкращого маршруту командою волонтерів під час рішення оперативних завдань транспортної логістики // Матеріали XI Міжнародної наук. практ. конф. Інформаційні управляючі системи і технології» (ІУСТ-2023), 21-23 вересня 2023 р. Одеса, Україна. - С. 211-213.

Додаток Б

Анкета опитування волонтерів щодо станів логістичного маршруту

Розділ 1. Вам дано критерії. Оцініть важливість кожного критерію оцінки альтернативного логістичного маршруту оцінкою від 0 до 10 (0 – не важливий, 10 - важливий).

№	Назва критерію	Пояснення
1	Безпека маршруту	Необхідно враховувати наявність бойових дій у районі маршруту, а також можливість нападу сил противника.
2	Довжина маршруту	Слід вибирати маршрут із найкоротшою відстанню між пунктами А та В, щоб скоротити час та вартість доставки гуманітарної допомоги.
3	Доступність маршруту	Потрібно враховувати технічні характеристики дороги, наявність мостів та тунелів, а також можливість перетину річок чи озер.
4	Стан дороги	Слід враховувати наявність пошкоджень дороги, можливість руху транспортних засобів ґрунтовими дорогами та дорогами з поганим покриттям.
5	Наявність палива та запасних частин	Слід враховувати можливість дозаправки транспортних засобів у дорозі та наявність запасних частин для їх ремонту у разі потреби.
6	Швидкість перевезення	Необхідно враховувати швидкість руху транспортних засобів маршрутом, щоб оптимізувати час доставки гуманітарної допомоги.
7	Надійність перевезення	Слід враховувати можливість поломки автомобіля та наявність плану дій у разі аварії чи непередбачених обставин.
8	Наявність засобів зв'язку	Слід приділити увагу наявності засобів зв'язку для забезпечення зв'язку з іншими групами волонтерів та організаціями, а також для зв'язку у разі надзвичайних ситуацій.
9	Здатність захистити транспорт	Слід приділити увагу можливості захистити транспортування гуманітарної допомоги, наприклад за допомогою супроводу або використання броньованих транспортних засобів.
10	Доступність	Слід враховувати наявність медичної допомоги на

	медичної допомоги	шляху проходження транспорту гуманітарної допомоги, а також можливість організації медичної допомоги на місці у разі потреби.
11	Рівень небезпеки місцевості	Слід враховувати характер місцевості, якою проходить маршрут, у тому числі наявність гірських перевалів, небезпечних ділянок доріг та інших перешкод, які можуть збільшити рівень ризику під час перевезення гуманітарної допомоги.
12	Наявність місць для відпочинку та сну	Слід приділити увагу безпечним місцям для ночівлі або відпочинку під час перевезення гуманітарної допомоги.

Розділ 2. Вам дано критерії. Оберіть напрями оптимізації наданих критеріїв (мінімізація/максимізація).

№	Назва критерію	Напрям оптимізації критерію
1	Безпека маршруту:	мінімізація/максимізація
2	Довжина маршруту	мінімізація/максимізація
3	Доступність маршруту	мінімізація/максимізація
4	Стан дороги:	мінімізація/максимізація
5	Швидкість перевезення	мінімізація/максимізація
6	Надійність перевезення	мінімізація/максимізація
7	Рівень небезпеки місцевості	мінімізація/максимізація

Розділ 3. Вам дано релейні критерії. Виберіть оцінки за цими критеріями.

1	Наявність палива та запасних частин			
	Так (бажано)	Так (не бажано)	Ні (бажано)	Ні (не бажано)
2	Наявність засобів зв'язку			
	Так (бажано)	Так (не бажано)	Ні (бажано)	Ні (не бажано)
3	Здатність захистити транспорт			
	Так (бажано)	Так (не бажано)	Ні (бажано)	Ні (не бажано)
4	Доступність медичної допомоги			
	Так (бажано)	Так (не бажано)	Ні (бажано)	Ні (не бажано)
5	Наявність місць для відпочинку та сну			

	Так (бажано)	Так (не бажано)	Ні (бажано)	Ні (не бажано)

Розділ 3. Вам дано критерії. Виконайте попарне порівняння наданих критеріїв.

Попарне порівняння 1.

Безпека маршруту			Довжина маршруту	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Безпека маршруту			Доступність маршруту:	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Безпека маршруту			Стан дороги	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Безпека маршруту			Наявність палива та запасних частин	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Безпека маршруту			Швидкість перевезення	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Безпека маршруту			Надійність перевезення	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Безпека маршруту			Наявність засобів зв'язку	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Безпека маршруту			Здатність захистити транспорт	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Безпека маршруту			Доступність медичної допомоги	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Безпека маршруту			Рівень загрози місцевості	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Безпека маршруту			Наявність місць для відпочинку та сну	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Попарне порівняння 2.

Довжина маршруту			Доступність маршруту	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Довжина маршруту			Стан дороги	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Довжина маршруту			Наявність палива та запасних частин	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Довжина маршруту			Швидкість перевезення	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Довжина маршруту			Надійність перевезення	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Довжина маршруту			Наявність засобів зв'язку	
Рівна	Помірна	Істотна чи	Значна (велика	Дуже велика

важливість	перевага	сильна перевага	перевага)	перевага
Довжина маршруту			Здатність захистити транспорт	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Довжина маршруту			Доступність медичної допомоги	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Довжина маршруту			Рівень загрози місцевості	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Довжина маршруту			Наявність місць для відпочинку та сну	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Довжина маршруту			Наявність місць для відпочинку та сну	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Попарне порівняння 3.

Доступність маршруту			Стан дороги	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Доступність маршруту			Наявність палива та запасних частин	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Доступність маршруту			Швидкість перевезення	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Доступність маршруту			Надійність перевезення	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Доступність маршруту			Наявність засобів зв'язку	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Доступність маршруту			Здатність захистити транспорт	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Доступність маршруту			Доступність медичної допомоги	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Доступність маршруту			Рівень загрози місцевості	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Доступність маршруту			Наявність місць для відпочинку та сну	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Попарне порівняння 4.

Стан дороги			Наявність палива та запасних частин	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Стан дороги			Швидкість перевезення	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Стан дороги			Надійність перевезення	
Рівна	Помірна	Істотна чи	Значна (велика	Дуже велика

важливість	перевага	сильна перевага	перевага)	перевага
Стан дороги		Наявність засобів зв'язку		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Стан дороги		Здатність захистити транспорт		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Стан дороги		Доступність медичної допомоги		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Стан дороги		Рівень загрози місцевості		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Стан дороги		Наявність місць для відпочинку та сну		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Попарне порівняння 5.

Наявність палива та запасних частин		Швидкість перевезення		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Наявність палива та запасних частин		Надійність перевезення		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Наявність палива та запасних частин		Наявність засобів зв'язку		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Наявність палива та запасних частин		Здатність захистити транспорт		
Рівна	Помірна	Істотна чи	Значна (велика	Дуже велика

важливість	перевага	сильна перевага	перевага)	перевага
Наявність палива та запасних частин		Доступність медичної допомоги		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Наявність палива та запасних частин		Рівень загрози місцевості		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Наявність палива та запасних частин		Наявність місць для відпочинку та сну		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Попарне порівняння 6.

Швидкість перевезення		Надійність перевезення		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Швидкість перевезення		Наявність засобів зв'язку		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Швидкість перевезення		Здатність захистити транспорт		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Швидкість перевезення		Доступність медичної допомоги		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Швидкість перевезення		Рівень загрози місцевості		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Швидкість перевезення		Наявність місць для відпочинку та сну		

Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Швидкість перевезення		Наявність засобів зв'язку		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Попарне порівняння 7.

Надійність перевезення		Наявність засобів зв'язку		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Надійність перевезення		Здатність захистити транспорт		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Надійність перевезення		Доступність медичної допомоги		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Надійність перевезення		Рівень загрози місцевості		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Надійність перевезення		Наявність місць для відпочинку та сну		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Попарне порівняння 8.

Наявність засобів зв'язку		Здатність захистити транспорт		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Наявність засобів зв'язку		Доступність медичної допомоги		

Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Наявність засобів зв'язку		Рівень загрози місцевості		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Наявність засобів зв'язку		Наявність місць для відпочинку та сну		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Попарне порівняння 9.

Здатність захистити транспорт		Доступність медичної допомоги		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Здатність захистити транспорт		Рівень загрози місцевості		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Здатність захистити транспорт		Наявність місць для відпочинку та сну		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Порівняння 10.

Доступність медичної допомоги		Рівень загрози місцевості		
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага
Доступність медичної допомоги		Наявність місць для відпочинку та сну		
Рівна	Помірна	Істотна чи	Значна (велика	Дуже велика

важливість	перевага	сильна перевага	перевага)	перевага

Порівняння 11

Рівень загрози місцевості			Наявність місць для відпочинку та сну	
Рівна важливість	Помірна перевага	Істотна чи сильна перевага	Значна (велика перевага)	Дуже велика перевага

Додаток В

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Перший проректор
Національного університету
«Одеська політехніка»

_____ Нестеренко С.А.

«04» 09 2023 р.

АКТ

про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи за темою «Моделі та методи прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки Горпенко Данила Руслановича

Комісія у складі голови науково-методичної комісії інституту комп'ютерних систем, к.т.н., доц. Ніколенко А. О. та заступника завідувача кафедри прикладної математики та інформаційних технологій з наукової роботи, к.е.н., доц. Юхименко Б. І. склали цей акт про те, що в Національному університеті «Одеська політехніка», при викладанні дисциплін «Теорія та методи прийняття рішень» та «Теорія прийняття рішень», а також в дипломному проектуванні здобувачів спеціальностей 122 – «Комп'ютерні науки» та 113 – «Прикладна математика» використовувались оригінальні матеріали, які отримано у дисертаційній роботі Горпенко Д.Р., а саме: метод прийняття рішень mSmart для вирішення багатокритеріальних задач.

Голова науково-методичної комісії ІКС
к. т. н., доцент _____ А. О. Ніколенко

Заступник завідувача кафедри ПМІТ
з наукової роботи,
к. е. н., доцент _____ Б. І. Юхименко

Додаток Д

Україна
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КОД ЄДРПОУ 43861328

пр.Шевченка, 1, м.Одеса, 65044
Україна
тел. +38 048 7223474
факс. +38 048 7221992
E-mail: mail@op.edu.ua

03.11.2023 №1820/132-07
на №

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційного дослідження
Горпенко Данила Руслановича,
представленого на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
122 – Комп'ютерні науки

Надана довідка затверджує, що матеріали дисертаційного дослідження Горпенко Данила Руслановича на тему «Моделі та методи прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики» є складовою частиною держбюджетної науково-дослідницької роботи № 181-132 «Моделювання систем, що самоорганізуються, і керованих динамічних систем» (№ ДР 0119U003520).

Довідка надана у зв'язку з захистом дисертації.

Проректор з науково-педагогічної роботи
та науково-педагогічної роботи
д. т. н., професор _____ Дмитро ДМИТРИШИН

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ • НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» • 43861328

Україна
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КОД ЄДРПОУ 43861328

пр.Шевченка, 1, м.Одеса, 65044
тел. +38 048 7223474
факс. +38 048 7221992
E-mail: mail@op.edu.ua

03.11.2023 № 1821/145-07
на №

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи
Горпенко Данила Руслановича
«Моделі та методи прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики», представленої
на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки

Надана довідка затверджує, що результати дисертаційного дослідження, що отримані Горпенко Данилом Руслановичем, використано під час виконання грантової програми UK-Ukraine Twinning Grants Scheme № UUT22 «A novel and reliable Decision Support System (DSS) on recovery route selection in transport logistics for volunteer teams».

Довідка надана у зв'язку з захистом дисертації.

Проректор з наукової
та науково-педагогічної роботи
д. т. н., професор _____ Дмитро ДМИТРИШИН

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ • НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» • 43861328

Додаток Ж

ЗАТВЕРДЖУЮ

Президент

Благодійного фонду

«ШЛЯХ ДО СВОБОДИ»

Ткаченко Л. М.

« 30 » _____ 2021 р.

Довідка про впровадження
результатів дисертаційної роботи Горпенко Данила Руслановича
«Моделі та методи прийняття рішень волонтерами в оперативних завданнях транспортної логістики»

Результати дисертації Горпенко Д.Р. розглянуто на науково-технічній раді благодійного фонду «Шлях до свободи». Відзначено нові технічні можливості, які забезпечують отримані наукові результати:

– можливість вибору безпечного маршруту для здійснення транспортної операції командою волонтерів в умовах динамічної зміни ситуації;
– оперативність прийняття рішення, щодо вибору маршруту.

Проведено випробування програмного продукту для підтримки прийняття оперативних рішень при здійсненні заходів транспортної логістики волонтерами в умовах воєнного стану. Підтверджено працездатність програми для роботи в реальному масштабі часу.

Заплановано впровадження результатів наукової роботи досягнень Горпенко Д.Р. фондом «Шлях до свободи» з метою забезпечення потреб волонтерських організацій, що здійснюють транспортні операції.

Президент Благодійного фонду

«ШЛЯХ ДО СВОБОДИ» Ткаченко Л. М.

Додаток 3

Елементи програмної реалізації розробленої системи

```
import android.content.Context;
import android.content.Intent;
import android.graphics.Color;
import android.graphics.Paint;
import android.graphics.Typeface;
import android.net.Uri;
import android.os.Build;
import android.os.Bundle;
import androidx.annotation.RequiresApi;
import androidx.appcompat.app.AppCompatActivity;
import android.text.Editable;
import android.text.InputType;
import android.text.TextWatcher;
import android.text.method.DigitsKeyListener;
import android.util.Log;
import android.util.TypedValue;
import android.view.Gravity;
import android.view.Menu;
import android.view.MenuItem;
import android.view.View;
import android.view.ViewGroup;
import android.widget.ArrayAdapter;
import android.widget.Button;
import android.widget.CheckBox;
import android.widget.EditText;
import android.widget.LinearLayout;
import android.widget.ScrollView;
import android.widget.SeekBar;
import android.widget.Spinner;
import android.widget.TextView;
import android.widget.Toast;
import com.warkiz.widget.IndicatorSeekBar;
import com.warkiz.widget.IndicatorType;
import com.warkiz.widget.OnSeekChangeListener;
import com.warkiz.widget.SeekParams;
import com.warkiz.widget.TickMarkType;
import org.json.JSONArray;
import org.json.JSONException;
import org.json.JSONObject;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Collections;
import java.util.List;
import java.util.regex.Matcher;
import java.util.regex.Pattern;

public class Thirdactivity extends AppCompatActivity implements
View.OnClickListener {
    int kolvoKriteriev;
    int kolvoAlternativ;
    List<EditText> KritEditTexts;
    List<Spinner> SpinnerValues;
    List<Spinner> Spinner2Values;
    List<IndicatorSeekBar> qualitySeekBarList;
    List<IndicatorSeekBar> presabsSeekBarList;
    static List<Double> ListOfS = new ArrayList<>();
    static List<Double> UnsortListOfS = new ArrayList<>();
    int kurentId = 1000;
    LinearLayout linLayout;
```

```
    ScrollView sv;
    int[] intPosValuesFrom2ActivitySpinner;
    String[][] strings;
    String[][] NewOtsortirovanStrings;
    int mesto = 0;
    TextView title, firsttitle;
    Spinner spinner;
    double[][] doubleArrayOfValues;
    int[] spinValues;
    String activetyName;
    private static final String TAG = "MyActivity";
    List<String> ZnacheniyaAltIsGrid;
    List<String> SortZnacheniyaAltIsGrid = new ArrayList<>();
    List<String> ZnacheniyaIsGrid;
    List<Double> ZnachenieKriteriev;
    List<String> DopolnitZnach;
    JSONObject jsonNamesOfAlternatives;
    JSONObject jsonNamesOfKriterias;
    JSONObject jsonZnachenieKriteriev;
    JSONObject jsonDopolnitZnach;
    String namesOfAlternatives;
    String namesOfKriterias;
    String ZnachenieKriterievString;
    String DopolnitZnachList;
    private DatabaseHelper dbhelper;
    private NotesAdapter mAdapter;
    private List<Note> notesList = new ArrayList<>();
    String OuvetSmart;

    int kolvoKolichestvennihKrit;
    int kolvoKachestvennihKrit;
    int kolvoNalichieKrit;

    double[] HaringtonScale = {0.06, 0.13, 0.2, 0.26, 0.33, 0.4, 0.46, 0.53,
0.6, 0.66, 0.73, 0.8, 0.86, 0.93, 1};

    @RequiresApi(api = Build.VERSION_CODES.M)
    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {

        super.onCreate(savedInstanceState);
        sv = new ScrollView(this);
        linLayout = new LinearLayout(this);
        linLayout.setOrientation(LinearLayout.VERTICAL);
        linLayout.setGravity(Gravity.CENTER | Gravity.BOTTOM);
        setContentView(sv);
        sv.addView(linLayout);

        Typeface boldTypeface = Typeface.defaultFromStyle(Typeface.BOLD);
        ZnacheniyaIsGrid =
getIntent().getStringArrayListExtra("StringValue");
        ZnacheniyaAltIsGrid =
getIntent().getStringArrayListExtra("StringValueOfAlt");

        kolvoKriteriev = getIntent().getIntExtra("kolvoCrit", 0);
        kolvoAlternativ = getIntent().getIntExtra("kolvoAlt", 0);

        intPosValuesFrom2ActivitySpinner =
getIntent().getIntArrayExtra("SpinnerIntArray");
        ZnachenieKriteriev= new ArrayList<Double>();
        DopolnitZnach = new ArrayList<String>();

        dbhelper = new DatabaseHelper(this);
        notesList.addAll(dbhelper.getAllNotes());
```

```
        mAdapter = new NotesAdapter(this, notesList);

        jsonNamesOfAlternatives = new JSONObject();
        jsonNamesOfKriterias = new JSONObject();

        try {
            jsonNamesOfAlternatives.put("ИменаАльтернатив", new
JSONArray(ZnacheniyaAltIsGrid));
        } catch (JSONException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        try {
            jsonNamesOfKriterias.put("NamesOfKriterias", new
JSONArray(ZnacheniyaIsGrid));
        } catch (JSONException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        namesOfAlternatives = jsonNamesOfAlternatives.toString();
        namesOfKriterias = jsonNamesOfKriterias.toString();

        kolvoKolichestvennihKrit=0;
        kolvoKachestvennihKrit=0;
        kolvoNalichieKrit=0;

        for(int i=0; i<kolvoKriteriev; i++){

            switch (intPosValuesFrom2ActivitySpinner[i]){
                case 1:
                    kolvoKolichestvennihKrit++;
                    break;
                case 0:
                    kolvoKachestvennihKrit++;
                    break;
                case 2:
                    kolvoNalichieKrit++;
                    break;
            }
        }

        int[] mestaKolichestvennihKrit = new int[kolvoKolichestvennihKrit];
        final int[] mestaKachestvennihKrit= new int[kolvoKachestvennihKrit];
        int[] mestaNalichieKrit= new int[kolvoNalichieKrit];

        int j_m = 0;
        int k_m =0;
        int n_m=0;
        for(int i=0; i<kolvoKriteriev; i++){

            switch (intPosValuesFrom2ActivitySpinner[i]){
                case 1:
                    mestaKolichestvennihKrit[j_m]=i;
                    j_m++;

                    break;
                case 0:
                    mestaKachestvennihKrit[k_m]=i;
                    k_m++;
                    break;
                case 2:
                    mestaNalichieKrit[n_m]=i;
                    n_m++;
                    break;
            }
        }
```

```
        LinearLayout.LayoutParams lParamss = new
LinearLayout.LayoutParams(ViewGroup.LayoutParams.WRAP_CONTENT,
ViewGroup.LayoutParams.WRAP_CONTENT);
        LinearLayout.LayoutParams ButtonParamss = new
LinearLayout.LayoutParams(ViewGroup.LayoutParams.MATCH_PARENT,
ViewGroup.LayoutParams.WRAP_CONTENT);
        ButtonParamss.setMargins(8, 50, 8, 8);
        KritEditTexts = new ArrayList<>();

        LinearLayout.LayoutParams lParams = new
LinearLayout.LayoutParams(ViewGroup.LayoutParams.MATCH_PARENT,
ViewGroup.LayoutParams.WRAP_CONTENT);
        lParams.setMargins(8, 8, 8, 8);

        firsttitle = new TextView(Thirdactivity.this);
        firsttitle.setLayoutParams(lParams);
        firsttitle.setText(R.string.ThirdAct_top);
        firsttitle.setTextColor(Color.BLACK);
        firsttitle.setTypeface(boldTypeface);
        firsttitle.setTextSize(TypedValue.COMPLEX_UNIT_SP, 18);
        linLayout.addView(firsttitle);

        for (int i = 0; i < kolvoAlternativ; i++) {

            addNewEditText(ZnacheniyaAltIsGrid.get(i));

            for (int j = 0; j < kolvoKolichestvennihKrit; j++) {
                final EditText ed = new EditText(Thirdactivity.this);
                title = new TextView(Thirdactivity.this);
                KritEditTexts.add(mesto, ed);
                mesto++;
                ed.setId(kurentId);

                ed.setLayoutParams(lParams);
                title.setLayoutParams(lParams);

title.setText(ZnacheniyaIsGrid.get(mestaKolichestvennihKrit[j]) + " = ");
                ed.setHint(R.string.third_hint);
                ed.setGravity(Gravity.CENTER | Gravity.BOTTOM);
                title.setGravity(Gravity.CENTER | Gravity.BOTTOM);
                ed.setInputType(InputType.TYPE_CLASS_NUMBER);
                ed.setInputType(InputType.TYPE_NUMBER_FLAG_DECIMAL);
                ed.setKeyListener(DigitsKeyListener.getInstance(false,
true));
                ed.addTextChangedListener(new TextWatcher() {
                    @Override
                    public void onTextChanged(CharSequence s, int start, int
before, int count) {
                        if (s.toString().equals("")) {
                            ed.setError("Error");
                        } else if (s.charAt(0) == '.') {
                            ed.setText("0"+s);
                            ed.setSelection(ed.getText().length());
                        } else if(s.length()>2 && s.charAt(0) == '0' &&
s.charAt(1) !='.'){
                            String lilstring = s.toString();
                            StringBuffer sb = new StringBuffer(lilstring);
                            sb.deleteCharAt(0);
                            ed.setText(sb.toString());
                        }
                    }

                    @Override
                    public void afterTextChanged(Editable s) {
```

```
                    }
                });

                linLayout.addView(title);
                linLayout.addView(ed);

                kurentId++;
            }

            int seekBarKachID=12111;
            int titleSeekBarID=121111;
            qualitySeekBarList = new ArrayList<>();
            for(int j=0;j<kolvoKachestvennihKrit;j++){

                final String s =
ZnacheniyaIsGrid.get(mestaKachestvennihKrit[j]);
                final TextView title4KachSB = new
TextView(Thirdactivity.this);
                final String[] array_ends = {"-",
getString(R.string.seekbar_text_vbad), "+", "-",
getString(R.string.seekbar_text_bad), "+", "-",
getString(R.string.seekbar_text_satisfactory), "+", "-
",getString(R.string.seekbar_text_good), "+", "-",
getString(R.string.seekbar_text_excellent),"+"};
                title4KachSB.setLayoutParams(lParams);

                title4KachSB.setGravity(Gravity.CENTER | Gravity.BOTTOM);

                final IndicatorSeekBar seekBar = IndicatorSeekBar
                        .with(Thirdactivity.this)
                        .max(14)
                        .min(0)
                        .progress(7)
                        .tickCount(15)
                        .showTickMarksType(TickMarkType.DIVIDER)

.tickMarksColor(getResources().getColor(R.color.seek_bar_text, null))
                        .tickMarksSize(13)
                        .tickTextsArray(array_ends)
                        .showTickTexts(true)

.tickTextsColor(getResources().getColor(R.color.seek_bar_text))
                        .tickTextsSize(10)
                        .tickTextsTypeFace(Typeface.DEFAULT)
                        .showIndicatorType(IndicatorType.ROUNDED_RECTANGLE)

.indicatorColor(getResources().getColor(R.color.colorPrimary))
                        .indicatorTextColor(Color.parseColor("#ffffff"))
                        .indicatorTextSize(13)

.thumbColor(getResources().getColor(R.color.colorPrimary, null))
                        .thumbSize(14)

.trackProgressColor(getResources().getColor(R.color.design_default_color_back
ground,null))
                        .trackProgressSize(4)

.trackBackgroundColor(getResources().getColor(R.color.design_default_color_ba
ckground))
                        .trackBackgroundSize(4)
                        .onlyThumbDraggable(false)
                        .build();

title4KachSB.setText(ZnacheniyaIsGrid.get(mestaKachestvennihKrit[j])+":
```

```
"+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                qualitySeekBarList.add(j,seekBar);
                seekBar.setOnSeekChangeListener(new OnSeekChangeListener() {
                    @Override
                    public void onSeeking(SeekParams seekParams) {
                        switch(seekParams.thumbPosition){
                            case
0:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_vbad)+"${TIC
K_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_vbad)+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
1:seekBar.setIndicatorTextFormat("${TICK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
2:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_vbad)+"${TIC
K_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_vbad)+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
3:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_bad)+"${TICK
_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_bad)+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
4:seekBar.setIndicatorTextFormat("${TICK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
5:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_bad)+"${TICK
_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_bad)+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
6:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_satisfactory
)+"${TICK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_satisfactory)+array_ends[seekBar.getProgres
s()]);
                                break;
                            case
7:seekBar.setIndicatorTextFormat("${TICK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
8:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_satisfactory
)+"${TICK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_satisfactory)+array_ends[seekBar.getProgres
s()]);
                                break;
                            case
9:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_good)+"${TIC
K_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_good)+array_ends[seekBar.getProgress()]);
```

```
                                break;
                            case
10:seekBar.setIndicatorTextFormat("${TICK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
11:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_good)+"${TI
CK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_good)+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
12:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_excellent)+
"${TICK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_excellent)+array_ends[seekBar.getProgress()
]);
                                break;
                            case
13:seekBar.setIndicatorTextFormat("${TICK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                                break;
                            case
14:seekBar.setIndicatorTextFormat(getString(R.string.seekbar_text_excellent)+
"${TICK_TEXT}");
                                title4KachSB.setText(s+":
"+getString(R.string.seekbar_text_excellent)+array_ends[seekBar.getProgress()
]);
                                break;
                        }
                    }
                    @Override
                    public void onStartTrackingTouch(IndicatorSeekBar
seekBar) {
                    }

                    @Override
                    public void onStopTrackingTouch(IndicatorSeekBar seekBar)
{
                    }
                });
                seekBar.setIndicatorTextFormat("${TICK_TEXT}");
                seekBar.setId(seekBarKachID++);
                title4KachSB.setId(titleSeekBarID++);
                linLayout.addView(title4KachSB);
                linLayout.addView(seekBar);

            }
            int seekBarNalichID=121111;
            int titleNalichSeekBarID=1211110;
            int seekBarYesNoID=12111;
            presabsSeekBarList = new ArrayList<>();
            for(int j=0;j<kolvoNalichieKrit;j++){
                final String s1 = ZnacheniyaIsGrid.get(mestaNalichieKrit[j]);

                final TextView title4SB = new TextView(Thirdactivity.this);
                title4SB.setLayoutParams(lParams);

                title4SB.setGravity(Gravity.CENTER | Gravity.BOTTOM);
                title4SB.setId(titleNalichSeekBarID++);

                final String[] array_ends = {"yes(desirable)", "yes(not
```

```
desirable)", "no(desirable)","no(not desirable)"};
                final IndicatorSeekBar seekBar = IndicatorSeekBar
                        .with(Thirdactivity.this)
                        .max(3)
                        .min(0)
                        .progress(2)
                        .tickCount(4)
                        .showTickMarksType(TickMarkType.DIVIDER)

.tickMarksColor(getResources().getColor(R.color.seek_bar_text, null))
                        .tickMarksSize(13)
                        .tickTextsArray(array_ends)
                        .showTickTexts(true)

.tickTextsColor(getResources().getColor(R.color.seek_bar_text))
                        .tickTextsSize(10)
                        .tickTextsTypeFace(Typeface.DEFAULT)
                        .showIndicatorType(IndicatorType.ROUNDED_RECTANGLE)

.indicatorColor(getResources().getColor(R.color.colorPrimary))
                        .indicatorTextColor(Color.parseColor("#ffffff"))
                        .indicatorTextSize(13)

.thumbColor(getResources().getColor(R.color.colorPrimary, null))
                        .thumbSize(14)

.trackProgressColor(getResources().getColor(R.color.design_default_color_back
ground,null))
                        .trackProgressSize(4)

.trackBackgroundColor(getResources().getColor(R.color.design_default_color_ba
ckground))
                        .trackBackgroundSize(4)
                        .onlyThumbDraggable(false)
                        .build();

title4SB.setText(ZnacheniyaIsGrid.get(mestaNalichieKrit[j])+": "+
seekBar.getProgress());
                presabsSeekBarList.add(j,seekBar);
                seekBar.setOnSeekChangeListener(new OnSeekChangeListener() {
                    @Override
                    public void onSeeking(SeekParams seekParams) {
                        title4SB.setText(s1+":
"+array_ends[seekBar.getProgress()]);
                    }

                    @Override
                    public void onStartTrackingTouch(IndicatorSeekBar
seekBar) {
                    }

                    @Override
                    public void onStopTrackingTouch(IndicatorSeekBar seekBar)
{
                    }
                });
                seekBar.setIndicatorTextFormat("${TICK_TEXT}");
                seekBar.setId(seekBarNalichID++);

                linLayout.addView(title4SB);
                linLayout.addView(seekBar);
            }
        }
        TextView textt = new TextView(this);
```

```
        TextView texttt = new TextView(this);
        textt.setText(R.string.third_title_help);

        linLayout.addView(textt, lParamss);
        Integer[] stepen = new Integer[]{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10};
        int spinnerId = 1234;
        SpinnerValues = new ArrayList<Spinner>();

            int rateInd=0;
            for (int j = 0; j < kolvoKolichestvennihKrit; j++){
                TextView textview = new TextView(Thirdactivity.this);

textview.setText(ZnacheniyaIsGrid.get(mestaKolichestvennihKrit[j]) + " = ");
                linLayout.addView(textview, lParamss);

                spinner = new Spinner(Thirdactivity.this);
                SpinnerValues.add(rateInd++, spinner);
                spinner.setId(spinnerId);
                ArrayAdapter<Integer> adapter = new
ArrayAdapter<Integer>(this, android.R.layout.simple_spinner_item, stepen);

adapter.setDropDownViewResource(android.R.layout.simple_spinner_dropdown_item
);
                spinner.setAdapter(adapter);

                linLayout.addView(spinner, lParamss);
                spinnerId++;
            }
            for (int j = 0; j < kolvoKachestvennihKrit; j++){
                TextView textview = new TextView(Thirdactivity.this);

textview.setText(ZnacheniyaIsGrid.get(mestaKachestvennihKrit[j]) + " = ");
                linLayout.addView(textview, lParamss);

                spinner = new Spinner(Thirdactivity.this);
                SpinnerValues.add(rateInd++, spinner);
                spinner.setId(spinnerId);
                ArrayAdapter<Integer> adapter = new
ArrayAdapter<Integer>(this, android.R.layout.simple_spinner_item, stepen);

adapter.setDropDownViewResource(android.R.layout.simple_spinner_dropdown_item
);
                spinner.setAdapter(adapter);

                linLayout.addView(spinner, lParamss);
                spinnerId++;
            }
            for (int j = 0; j < kolvoNalichieKrit; j++){
                TextView textview = new TextView(Thirdactivity.this);
                textview.setText(ZnacheniyaIsGrid.get(mestaNalichieKrit[j]) +
" = ");
                linLayout.addView(textview, lParamss);

                spinner = new Spinner(Thirdactivity.this);
                SpinnerValues.add(rateInd++, spinner);
                spinner.setId(spinnerId);
                ArrayAdapter<Integer> adapter = new
ArrayAdapter<Integer>(this, android.R.layout.simple_spinner_item, stepen);

adapter.setDropDownViewResource(android.R.layout.simple_spinner_dropdown_item
);
                spinner.setAdapter(adapter);

                linLayout.addView(spinner, lParamss);
```

```
                spinnerId++;
            }
        texttt.setText(R.string.third_title_help2);
        linLayout.addView(texttt, lParamss);
        String[] fill = {"max", "min"};
        int spinnerrId = 12345;
        Spinner2Values = new ArrayList<Spinner>();

        int minmaxInd=0;
        for (int j = 0; j < kolvoKolichestvennihKrit; j++){
            TextView textview = new TextView(Thirdactivity.this);

textview.setText(ZnacheniyaIsGrid.get(mestaKolichestvennihKrit[j]) + " = ");
            linLayout.addView(textview, lParamss);

            spinner = new Spinner(Thirdactivity.this);
            Spinner2Values.add(minmaxInd, spinner);
            spinner.setId(spinnerrId);
            ArrayAdapter<String> adapter = new ArrayAdapter<String>(this,
android.R.layout.simple_spinner_item, fill);

adapter.setDropDownViewResource(android.R.layout.simple_spinner_dropdown_item
);
            spinner.setAdapter(adapter);

            linLayout.addView(spinner, lParamss);
            spinnerrId++;
        }

        Button btn = new Button(this);
        btn.setText(R.string.third_buttontext);
        linLayout.addView(btn, ButtonParamss);
        btn.setOnClickListener(this);

    }
    @Override
    public boolean onCreateOptionsMenu(Menu menu) {
        getMenuInflater().inflate(R.menu.menu, menu);
        return super.onCreateOptionsMenu(menu);
    }
    @Override
    public boolean onOptionsItemSelected(MenuItem item) {
        if (item.getItemId() == R.id.ActionbarHelp) {
            Intent intent2 = new Intent(Thirdactivity.this, help.class);
            intent2.putExtra("helpExtra", activetyName);
            startActivity(intent2);
        } else if (item.getItemId() == R.id.ActionbarAbout) {
            Intent intent2 = new Intent(Thirdactivity.this, About.class);
            intent2.putExtra("helpExtra", activetyName);
            startActivity(intent2);
        } else if (item.getItemId() == R.id.ActionbarRate) {
            Intent intent22 = new Intent(Intent.ACTION_VIEW);

intent22.setData(Uri.parse("market://details?id=com.dieznote.smarttopsis_v001
"));
            startActivity(intent22);
        }else if (item.getItemId() == R.id.ActionbarComparisons) {
            Intent intent2 = new Intent(Thirdactivity.this,
from_dblist.class);
            intent2.putExtra("helpExtra", activetyName);
            startActivity(intent2);
        }
        return super.onOptionsItemSelected(item);
    }
```

```
    private void createNote(int kolvoAlt,int kolvoKrit,String
AltNamesNote,String KritNamesNote,String KritValues,String DopolnitZnach,
String Decision) {
        long id =
dbhelper.insertNote(kolvoAlt,kolvoKrit,AltNamesNote,KritNamesNote,KritValues,
DopolnitZnach,Decision);
        Note n = dbhelper.getNote(id);
        if (n != null) {
            notesList.add(0, n);
            mAdapter.notifyDataSetChanged();
        }
    }

    @Override
    public void onClick(View view) {
        int countOfZiroSize = 0;

        strings = new String[kolvoAlternativ][kolvoKolichestvennihKrit];
        doubleArrayOfValues = new
double[kolvoAlternativ][kolvoKolichestvennihKrit];
        String[] stringsOfSpinner = new String[kolvoKriteriev];
        String[] stringsOfSpinner2 = new String[kolvoKriteriev];
        spinValues = new int[kolvoKriteriev];
        int k = 0;
        mesto = 0;
        ZnachenieKriteriev.clear();
        DopolnitZnach.clear();
        for (int i = 0; i < kolvoAlternativ; i++) {
            for (int j = 0; j < kolvoKolichestvennihKrit; j++) {
                strings[i][j] = KritEditTexts.get(k).getText().toString();
                Pattern p = Pattern.compile("0");
                Matcher m = p.matcher(strings[i][j]);
                boolean  isBad = false;
                int matches = 0;
                while (m.find()){
                    matches++;
                }
                if(strings[i][j].equals("0") || strings[i][j].equals("0.0")
|| strings[i][j].equals("00")){
                    isBad = true;
                } else if(strings[i][j].length()>2 &&
strings[i][j].charAt(strings[i][j].length()-1)=='.') {
                    isBad = true;
                }else if(strings[i][j].length()>1 && matches ==
strings[i][j].length()-1 && strings[i][j].charAt(0)=='0'){
                    isBad = true;
                    matches = 0;
                }else if(strings[i][j].length()>0 &&
strings[i][j].charAt(strings[i][j].length()-1)=='.'){
                    isBad = true;
                }
                countOfZiroSize = 0;

                if(strings[i][j].length()==0 || strings[i][j].equals("")){
                    countOfZiroSize++;
                } else if(strings[i][j].length()>0 && isBad ){
                    countOfZiroSize++;
                }

                if(countOfZiroSize>0){
                    KritEditTexts.get(k).setError("!");
                    KritEditTexts.get(k).requestFocus();

KritEditTexts.get(k).setSelection(KritEditTexts.get(k).getText().length());
```

```
                    Toast toast =
Toast.makeText(this,"Error",Toast.LENGTH_LONG);
                    toast.show();
                }else {
                    doubleArrayOfValues[i][j] =
Double.parseDouble(strings[i][j]);
                    ZnachenieKriteriev.add(doubleArrayOfValues[i][j]);
                    k++;
                    mesto++;
                }
            }
        }
        for (int j = 0; j < kolvoKriteriev; j++) {
            Spinner selectedSpen = SpinnerValues.get(j);
            Spinner selected2Spen = Spinner2Values.get(j);
            stringsOfSpinner[j] = selectedSpen.getSelectedItem().toString();
            DopolnitZnach.add(stringsOfSpinner[j]);
            stringsOfSpinner2[j] =
selected2Spen.getSelectedItem().toString();
            DopolnitZnach.add(stringsOfSpinner2[j]);
            spinValues[j] = Integer.parseInt(stringsOfSpinner[j]) * 10;
        }
        Context context = getApplicationContext();
        int duration = Toast.LENGTH_LONG;
        Toast toast = Toast.makeText(context, R.string.third_toast,
duration);
        jsonZnachenieKriteriev = new JSONObject();
        jsonDopolnitZnach = new JSONObject();
        try {
            jsonZnachenieKriteriev.put("ZnachenieKriteriev", new
JSONArray(ZnachenieKriteriev));
        } catch (JSONException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        try {
            jsonDopolnitZnach.put("DopolnitZnach", new
JSONArray(DopolnitZnach));
        } catch (JSONException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        ZnachenieKriterievString = jsonZnachenieKriteriev.toString();
        DopolnitZnachList = jsonDopolnitZnach.toString();
        OuvetSmart = solveSmart(doubleArrayOfValues, kolvoAlternativ,
kolvoKriteriev,kolvoKachestvennihKrit,kolvoKolichestvennihKrit,kolvoNalichieK
rit, spinValues, stringsOfSpinner2,qualitySeekBarList,presabsSeekBarList);

        Collections.sort(ListOfS,Collections.reverseOrder());
        int sortindex=0;
        SortZnacheniyaAltIsGrid.clear();
        for(int i = 0;i<ZnacheniyaAltIsGrid.size();i++){
            sortindex = UnsortListOfS.indexOf(ListOfS.get(i));
            SortZnacheniyaAltIsGrid.add(ZnacheniyaAltIsGrid.get(sortindex));
        }
        if (countOfZiroSize > 0) {
            toast.show();
        } else {

createNote(kolvoAlternativ,kolvoKriteriev,namesOfAlternatives,namesOfKriteria
s,ZnachenieKriterievString,DopolnitZnachList,OuvetSmart);

            Intent intent = new Intent(Thirdactivity.this,
FourthActivity.class);
            intent.putExtra("valuesOfKritSpinner", stringsOfSpinner);
            intent.putExtra("ReshenieSmart", OuvetSmart);
```

```
            intent.putExtra("kolvoCritt", kolvoKriteriev);
            intent.putExtra("kolvoAltt", kolvoAlternativ);
            intent.putStringArrayListExtra("StringValueOfAlt1",
(ArrayList<String>) ZnacheniyaAltIsGrid);
            intent.putStringArrayListExtra("SortStringValueOfAlt",
(ArrayList<String>) SortZnacheniyaAltIsGrid);
            intent.putExtra("SortDoubleValueOfS", (ArrayList<Double>)
ListOfS);
            startActivity(intent);
        }
    }

    public static String solveSmart(double[][] array, int kolAlt, int
kolKrit,int kolvoKachestvennihKrit, int kolvoKolichestvennihKrit, int
kolvoNalichieKrit , int[] spinZnach, String[] stringsOfSpinner2, List
qualitySeekBarList, List presabsSeekBarList) {

        double[][] finalMatrix = new double[kolAlt][kolKrit];
        double[][] arrayOfNorm = new
double[kolAlt][kolvoKolichestvennihKrit];
        double[] y = new double[kolKrit];
        double[] S = new double[kolAlt];
        double s;
        ListOfS.clear();
        UnsortListOfS.clear();

        double sum = 0;
        for (int j = 0; j < kolKrit; j++) {
            sum = sum + spinZnach[j];
        }

        for (int j = 0; j < kolKrit; j++) {
            y[j] = spinZnach[j] / sum;
        }

        for (int j = 0; j < kolvoKolichestvennihKrit; j++) {

            double sum1 = 0;
            double sqrpOtSum = 0;

            if (stringsOfSpinner2[j].equals("min")) {
                for (int i = 0; i < kolAlt; i++) {
                    sum1 = sum1 + Math.pow(array[i][j], 2);

                }
                sqrpOtSum = Math.sqrt(sum1);
                for (int i = 0; i < kolAlt; i++) {
                    double t = array[i][j] / sqrpOtSum;
                    arrayOfNorm[i][j] = 1 - t;
                }

            } else if (stringsOfSpinner2[j].equals("max")) {
                for (int i = 0; i < kolAlt; i++) {
                    sum1 = sum1 + Math.pow(array[i][j], 2);

                }
                sqrpOtSum = Math.sqrt(sum1);
                for (int i = 0; i < kolAlt; i++) {
                    double t = array[i][j] / sqrpOtSum;
                    arrayOfNorm[i][j] = t;
                }
            }
        }
        for (int i = 0; i < kolAlt; i++) {
```

```
            s = 0;
            for (int j = 0; j < kolKrit; j++) {
                s = s + arrayOfNorm[i][j] * y[j];
            }
            S[i] = s;
            ListOfS.add(S[i]);
            UnsortListOfS.add(S[i]);
        }
        double max = S[0];
        int maxIndex = 0;
        for (int i = 0; i < kolAlt; i++) {
            if (max < S[i]) {
                max = S[i];
                maxIndex = i;
            }
        }
        maxIndex = maxIndex + 1;
        return Integer.valueOf(maxIndex).toString();
    }

    public void addNewEditText(String text) {
        LinearLayout.LayoutParams layoutParams = new
LinearLayout.LayoutParams(LinearLayout.LayoutParams.MATCH_PARENT,
LinearLayout.LayoutParams.MATCH_PARENT);
        TextView textVieww = new TextView(this);
        layoutParams.setMargins(8, 10, 8, 8);
        textVieww.setLayoutParams(layoutParams);
        textVieww.setText(text);
        textVieww.setTextColor(Color.BLACK);
        textVieww.setPaintFlags(textVieww.getPaintFlags() |
Paint.UNDERLINE_TEXT_FLAG);
        textVieww.setTextSize(18);
        linLayout.addView(textVieww);
    }
}
```