

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра інформаційних технологій

(повна назва кафедри)

## Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»

«Модельовання та багатокритеріальна оптимізація способів

переміщення пасажирів залізницею між станцією

"Одеса-Головна" та станціями Польщі»

(тема кваліфікаційної роботи українською мовою)

«**Modeling and multicriteria optimization of ways to move**

**passengers by rail between "Odesa-Holovna" station and**

**stations in Poland»**

(тема кваліфікаційної роботи англійською мовою)

Виконав здобувач денної форми навчання  
спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(код, назва спеціальності)

Освітня програма Комп'ютерні науки

(назва)

Мироненко Юрій Дмитрович

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник д.т.н., доцент, Великодний С.С.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент д.т.н., доцент, професор кафедри кібербезпеки НУ "Одеська

юридична академія", Соколов Артем Валерійович

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:

Протокол засідання кафедри

Інформаційних технологій

№      від           2024 р.

Завідувачка кафедри

(підпис)

(прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК №     

протокол №      від      2024 р.

Оцінка      /      /     

(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

(підпис)

(прізвище, ім'я)

Одеса 2024

## АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розробляється тема «Моделювання та багатокритеріальна оптимізація способів переміщення пасажирів залізницею між станцією "Одеса-Головна" та станціями Польщі».

Метою дослідження є визначення оптимальних шляхів пересування пасажирів між станцією «Одеса-Головна» та залізничними станціями Польщі на основі критеріїв вартості, часу та зручності.

Об'єктом дослідження є процес організації пересування пасажирів залізничним транспортом між Україною та Польщею.

Предметом дослідження є моделювання та багатокритеріальна оптимізація маршрутів транспортування пасажирів відповідно до визначених параметрів.

Актуальність теми обумовлена тим, що міграція до Варшави та інших міст Польщі є складним випробуванням для біженців з України через численні невизначеності, які виникають на шляху. Для багатьох українців цей крок є необхідним для забезпечення безпеки та створення перспектив для їхніх родин у найближчому майбутньому. Подолання цих труднощів та оптимізація маршрутів відповідно до конкретних критеріїв є основним завданням цієї дипломної роботи.

Результати кваліфікаційної роботи можуть бути корисними для вибору швидкого, економічного або комфортного маршруту з Одеси до Польщі. Це стане у нагоді громадянам, які змушені переміщуватися через бойові дії, або тим, хто відвідує своїх переміщених родичів чи знайомих у зв'язку з військовою агресією російської федерації проти України.

## ABSTRACT

The topic "Modeling and multicriteria optimization of ways to move passengers by rail between "Odesa-Holovna" station and stations in Poland" is developed in the qualification work.

The aim of the study is to identify optimal passenger routes between the "Odesa-Holovna" station and railway stations in Poland based on the criteria of cost, time, and convenience.

The object of the study is the process of organizing passenger transportation by rail between Ukraine and Poland.

The subject of the study is the modeling and multi-criteria optimization of passenger transportation routes according to specified parameters.

The relevance of the topic is determined by the fact that migration to Warsaw and other cities in Poland is a challenging ordeal for Ukrainian refugees due to numerous uncertainties encountered along the way. For many Ukrainians, this step is essential to ensure safety and create prospects for their families in the near future. Overcoming these challenges and optimizing routes according to specific criteria is the primary task of this thesis.

The results of this qualification work will be useful for selecting fast, economical, or comfortable routes from Odesa to Poland. They will benefit individuals forced to relocate due to hostilities or those visiting displaced relatives or acquaintances in connection with the military aggression of the Russian Federation against Ukraine.

## ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	7
ВСТУП .....	8
1 ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПЕРЕМІЩЕННЯ БІЖЕНЦІВ .	10
1.1 Відомі траєкторії переміщення з України .....	10
1.2 Організація транспортного сполучення між Одесою та Польщею ...	10
1.2.1 Шлях автомобілем .....	11
1.2.2 Шлях автобусом .....	16
1.2.3 Шлях поїздом .....	20
2 ПІДБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ВАРІАНТІВ.....	22
2.1 Пошук можливостей подорожі поїздом .....	22
2.2 Інтеграція проміжної станції для реалізації умовного переходу .....	23
2.3 Відпрацювання множинного вибору .....	24
2.4 Розрахунок множини шляхів із пересадкою через проміжну станцію .....	25
2.4.1 Алгоритм розрахунку показника комфорту .....	25
2.4.2 Визначення показника доступності .....	26
3 МОДЕЛІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ОБРАНИМИ МНОЖИНАМИ .....	27
3.1 Маршрут через Київ.....	27
3.1.1 Маршрут до Києва .....	27
3.1.2 Маршрут після Києва .....	29
3.2 Маршрут через Львів .....	34
3.2.1 Маршрут до Львова .....	34
3.2.2 Маршрут після Львова .....	37
3.2.2.1 Маршрут через станцію Рава-Руська.....	37
3.2.2.2 Маршрут через Перемишль .....	42
3.3 Альтернативний маршрут електричкою через Львів на Медику.....	48
3.3.1 Маршрут до Львова .....	49
3.3.2 Маршрут після Львова .....	49

3.4 Прямий маршрут до Перемишля.....	55
4 РОЗРАХУНОК ПЕЛЮСТКОВИХ ДІАГРАМ МАРШРУТІВ.....	58
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТОК А Копії тез доповіді ХХІІІ наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ .....	67

## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ВПП – варіант із пішим переходом

ГО – громадська організація

ПД – показник доступності

ПлД – пелюсткова діаграма

ПК – показник комфорту

ПС – проміжна станція

Спілка – громадська організація «Одеське імені Адама Міцкевича відділення

Спілки поляків в Україні».

## ВСТУП

З початку 2022 року, з моменту розгортання повномасштабної війни на території України внаслідок вторгнення з боку Російської Федерації, мільйони громадян України були змушені залишити свої домівки через інтенсивні бойові дії, порушення прав людини та загрозу життю. Значна частина цих осіб шукає притулку в інших регіонах України, однак багато хто обирає можливість міграції за кордон.

Однією з основних країн, куди спрямована значна частина українських переселенців, є Республіка Польща. Її географічна близькість, а також дієві програми підтримки біженців створюють сприятливі умови для переміщення українців. Польща активно допомагає переселенцям у пошуку тимчасового та постійного житла, доступі до освіти та інтеграції в суспільство.

Особливим центром прийому біженців стала столиця Польщі – Варшава, яка, як член Європейського Союзу та Шенгенської зони, пропонує спрощену процедуру перетину кордонів для громадян України. Разом із цим, міграція до Варшави й інших польських міст часто супроводжується труднощами, зокрема великим напливом мігрантів, конкуренцією на ринку праці та обмеженими ресурсами транспортної інфраструктури.

Метою дослідження є визначення оптимальних шляхів пересування пасажирів між станцією «Одеса-Головна» та залізничними станціями Польщі на основі критеріїв вартості, часу та зручності.

Об'єктом дослідження є процес організації пересування пасажирів залізничним транспортом між Україною та Польщею.

Предметом дослідження є моделювання та багатокритеріальна оптимізація маршрутів транспортування пасажирів відповідно до визначених параметрів.

Завдання дослідження.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- аналіз напрямків міграції та транспортних потоків між Україною та Польщею.
- дослідження можливих варіантів пересування між Одесою та польськими містами.
- обґрунтування прийняття рішень щодо вибору транспортних маршрутів.
- розробка математичних моделей переміщення пасажирів.
- визначення показників, які забезпечують комплексний аналіз маршрутів.
- побудова діаграм, що відображають порівняльні характеристики маршрутів.
- розрахунок та рекомендації щодо оптимальних варіантів пересування за критеріями часу, вартості та зручності.

# 1 ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПЕРЕМІЩЕННЯ БІЖЕНЦІВ

## 1.1 Відомі траєкторії переміщення з України

У зв'язку із загостренням військових дій на території України, значна частина населення вимушена шукати безпечні умови проживання як у межах країни, так і за її межами. Основними напрямками зовнішньої міграції є сусідні держави та інші країни Європейського Союзу, що надають допомогу біженцям.

Серед них можна виділити наступні країни:

Польща – основний напрямок міграції завдяки географічній близькості, історичним зв'язкам та доступності програм підтримки.

Словаччина – через спільний кордон та наявність гуманітарної допомоги.

Угорщина – як один із потенційних пунктів в'їзду через західні регіони України.

Румунія – пропонує програми підтримки та допомоги для українських переселенців.

Чехія, Німеччина, Франція, Швеція – держави Європейського Союзу, що приймають біженців та сприяють їх інтеграції.

Країни поза межами ЄС (США, Канада) – доступні для переселенців з відповідними візами чи статусами.

## 1.2 Організація транспортного сполучення між Одесою та Польщею

Організація транспортного сполучення між Одесою та Польщею є важливим аспектом у забезпеченні безпечного та ефективного переміщення біженців. Основними способами транспортування є:

- переміщення автомобілем – використання приватного автотранспорту дозволяє забезпечити гнучкість маршрутів, але вимагає дотримання низки умов, таких як технічна справність автомобіля, запаси пального, перевірка правил перетину кордонів, планування зупинок для відпочинку;
- подорож автобусом: економічний та доступний спосіб, проте може супроводжуватися тривалим часом у дорозі, обмеженим комфортом та затримками на кордонах;
- переміщення залізницею: найбільш стабільний варіант з точки зору регулярності, комфортності та вартості. Залізничне сполучення також дозволяє ефективно планувати маршрути з використанням проміжних станцій;
- повітряний транспорт: тимчасово недоступний через обмеження повітряного простору України;
- інші способи (автостоп, BlaBlaCar): менш безпечні та не розглядаються у даному дослідженні через високий рівень невизначеності.

### **1.2.1 Шлях автомобілем**

Подорож автомобілем з Одеси до Польщі може бути зручним варіантом, проте для її успішного здійснення необхідно врахувати низку важливих аспектів. Ось деякі з них, які є загальними для дальніх поїздок:

Технічний стан автомобіля: перед початком подорожі варто перевірити технічний стан транспортного засобу, переконатися у справності всіх систем і провести необхідне технічне обслуговування.

Запаси та екстрене обладнання: обов'язково потрібно мати необхідні речі, такі як запасне колесо, ключ для його заміни, аптечку, ліхтар, кабелі для зарядки, тепловідбивний покрив та інші предмети безпеки та комфорту.

Планування маршруту: важливо заздалегідь спланувати маршрут, враховуючи кількість годин на день для водіння, перерви для відпочинку, а також час для обіду, зупинок та можливих непередбачених ситуацій.

Заправка автомобіля: на великих відстанях необхідно заздалегідь заправити бак і слідкувати за рівнем пального.

Водійський режим та відпочинок: слід регулярно робити перерви для відпочинку та фізичної активності, дотримуючись правил дорожнього руху та обмежень щодо тривалості подорожі.

Проїзд кордону: при перетині міжнародних кордонів важливо перевірити вимоги до в'їзду в країни Європейського Союзу, наявність необхідних документів та страховок.

Проживання під час подорожі: оскільки подорож до Варшави може тривати до двох діб, необхідно заздалегідь подбати про зупинки та можливе місце для ночівлі.

Мобільний зв'язок та GPS: варто взяти з собою зарядний пристрій для телефону або повербанк, оскільки використання GPS та навігаційних систем може значно спустошити батарею мобільного пристрою.

Правила дорожнього руху в Польщі: в Польщі діють інші правила дорожнього руху, тому потрібно дотримуватись вимог щодо обмеження швидкості та використання світла.

Страхування: важливо переконатися, що автомобіль має належне страхування – «Зелену карту», а також страхування від нещасних випадків та медичне страхування для пасажирів.

Для планування маршруту автівкою рекомендується використовувати сервіси Google. Нижче представлено приклад побудованих варіантів такого маршруту (рис. 1.1).

Проаналізуємо запропоновані варіанти.

Показник розрахованого часу у дорозі відображає тільки чистий час руху автомобіля, при цьому середня розрахункова швидкість на даному відрізку шляху складає 80 км/год. Важливо зазначити, що в цей розрахунок не включено час, витрачений на санітарні зупинки, перерви для відпочинку водія, а також час, витрачений на проходження двох кордонів — українського та польського.

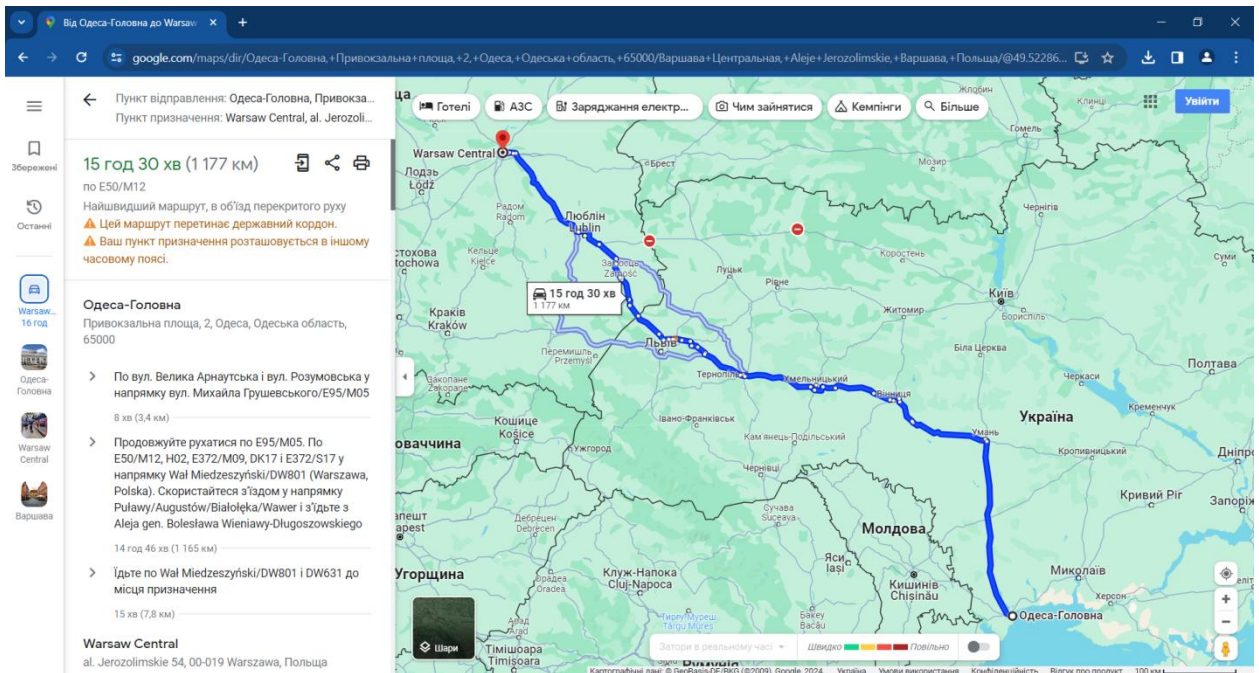


Рисунок 1.1 – Множина запропонованих варіантів автомобільних шляхів між Одесою та Варшавою

Згідно з фактичними даними, якщо уважно проаналізувати цю ділянку маршруту, на шляху будуть позначені червоні зони (рис. 1.2).

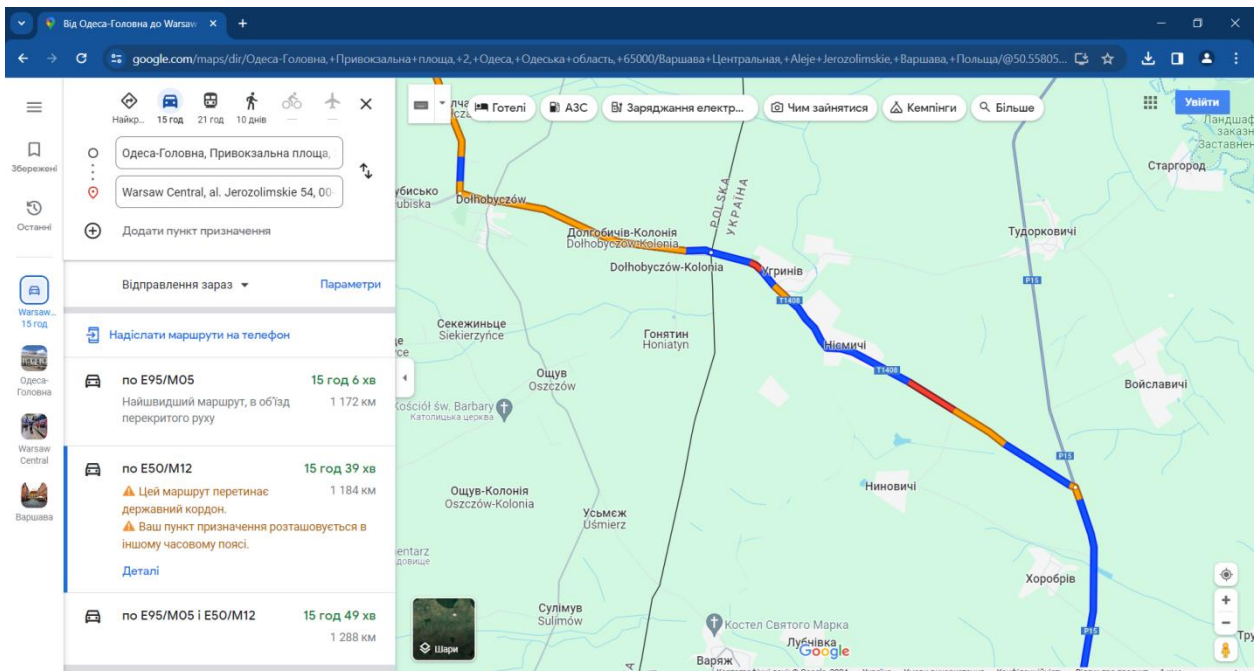


Рисунок 1.2 – Простий автомобільного сполучення на ділянці Україно-Польського кордону

Червоні позначки на карті вказують на відсутність руху, тобто транспортні засоби стоять в черзі. Згідно з моніторингом телеграм-каналів і спеціалізованих ресурсів, що інформують водіїв про ситуацію на кордонах, час очікування в черзі на блок-пост (права червона ділянка на рис. 1.2) може досягати 12–16 годин. Важливо відзначити, що незалежно від обраного пункту пропуску на україно-польському кордоні, час очікування на цих ділянках корелює і має незначний рівень варіативності (близько 2 годин). Це стосується тільки українського боку кордону.

Для розрахунку опорного значення можна обрати пункт пропуску з найменшим часом очікування – Угринів-Долгобичів (рис. 1.2). Враховуючи, що середній час очікування в черзі на цьому пункті становить 14 годин, цей показник майже дорівнює загальному часу маршруту, запропонованому в Google Maps (рис. 1.1).

Також, якщо врахувати другу червону ділянку (рис. біля с. Угринів), що відображає стоянку на самому кордоні (українська частина) під час оформлення документів, час очікування на цій ділянці становить приблизно 1,5-2 години. Крім того, слід додати час на огляд транспортного засобу та оформлення документів польською стороною, що займає ще 1,5-2 години. Враховуючи інші індивідуальні, але суттєві фактори, можна отримати наступний показник сумарного часу:

$$t_{\text{рш}} = \sum_1^n t_i = \bar{t}_{\text{чч}} + \bar{t}_{\text{бп}} + \bar{t}_{\text{уб}} + \bar{t}_{\text{пб}} + \bar{t}_{\text{зс}} + \bar{t}_{\text{зх}},$$

де  $t_{\text{рш}}$  – сумарний показник розрахункового часу, витраченого на весь шлях;

$\bar{t}_{\text{чч}}$  – середній час чистого часу, розрахованого навігатором;

$\bar{t}_{\text{бп}}$  – середній час очікування у черзі на блок пості перед українським кордоном;

$\bar{t}_{\text{уб}}$  – середній час очікування на українському боці кордону при оформленні документів на перетині;

$\bar{t}_{пб}$  – середній час очікування на польському боці кордону при оформленні документів та огляді;

$\bar{t}_{зс}$  – середній час на санітарні зупинки – кожні 4 години протягом  $\bar{t}_{чч}$  по 10 хвилин кожна (у часі різноманітного очікування  $\bar{t}_{зс}$  не береться до уваги, адже виконується паралельно із очікуванням), тобто близько 1 години;

$\bar{t}_{зх}$  – середній час на харчові зупинки – кожні 4 години протягом  $\bar{t}_{чч}$  по 15 хвилин (у часі різноманітного очікування  $\bar{t}_{зх}$  не береться до уваги, адже виконується паралельно із очікуванням), причому один раз на день обідня – довга (+ 15 хвилин до показника); такі зупинки можна не брати до уваги, якщо присутні більш ніж один водій; зазвичай  $\bar{t}_{зх}$  виконуються разом із  $\bar{t}_{зс}$ , але обліковий час не зменшується, а складається разом, таким чином дорівнює 1,5 години.

Таким чином, маємо такий показник  $t_{рш}$ :

$$t_{рш} = 16 + 14 + 2 + 2 + 1 + 1,5 = 36,5 \text{ (год.)}$$

При використанні цього показника, обов'язково слід додати умову:

$$\text{if } n_{в} < 2 \therefore t_{пч} = t_{рш} + t_{вп} \times n_{пд}(t_{рш}),$$

де  $n_{в}$  – кількість водіїв у транспортному засобі;

$t_{пч}$  – повний час, витрачений на увесь шлях між двома заданими пунктами;

$t_{вп}$  – час обов'язкового відпочинку (сну) у добу – приймається як 8 годин для нормального стану життєдіяльності водія;

$n_{пд}(t_{рш})$  – кількість повних діб, що є функцією від  $t_{рш}$ .

У нашому випадку, коли  $n_{в} = 1$  та  $n_{пд} = 1$  (35,6 годин дорівнює 1,5 доби, але беремо тільки цілочислові значення), то  $t_{пч}$ , дорівнює:

$$t_{\text{пч}} = 36,5 + 8 \times 1 = 44,5 \text{ (год.)}$$

Згідно з наведеними розрахунками, за найскромнішими показниками час подорожі від залізничної станції «Одеса-Головна» до залізничної станції «Варшава-Центральна» складає близько двох діб. Важливо зазначити, що цей час не враховує коефіцієнт коригування, пов'язаний з погодними умовами, що може значно збільшити загальний час подорожі  $t_{\text{пч}}$ .

Отже, можна зробити висновок, що подорож автомобілем між станціями «Одеса-Головна» та «Варшава-Центральна» може тривати до двох діб, що не відповідає вимогам оптимізації за критерієм часу. Крім того, це значно знижує комфорт водія та має негативний вплив на його фізичний стан через тривале перебування в режимі очікування.

### 1.2.2 Шлях автобусом

Подорож автобусом на великі відстані, зокрема між Одесою та Варшавою, має свої переваги та недоліки. Ось деякі з них:

Переваги автобусного транспорту:

а) економічність: автобуси є одним з найдешевших способів подорожі, оскільки вартість квитків часто значно нижча за ціни на авіарейси або поїзди;

б) доступність: автобуси можуть здійснювати рейси до багатьох місць, що забезпечує доступність для пасажирів з різних регіонів;

в) комфорт: деякі автобусні компанії пропонують комфортні умови для пасажирів, включаючи зручні сидіння, кондиціонування повітря та можливість користуватися Wi-Fi;

г) гнучкість маршрутів: автобуси можуть здійснювати зупинки в різних населених пунктах, що дає більше варіативності в плануванні маршруту;

Із проаналізованих загальних переваг пересування автобусами, для нашого конкретного маршруту Одеса – Варшава найбільш вагомими є пункти: а) та в), тобто усього два пункти переваг.

За п. а) можна розглядати багато комерційних платформ із продажу автобусних квитків, але доцільніше розглянути платформу «INFOBUS» [1], яка зарекомендувала себе як стабільний маркетплейс із можливістю отримати найнижчу вартість квитка.

Так подорож з Одеси до Варшави прямим рейсом складає від 1300 грн. (рис. 1.3).

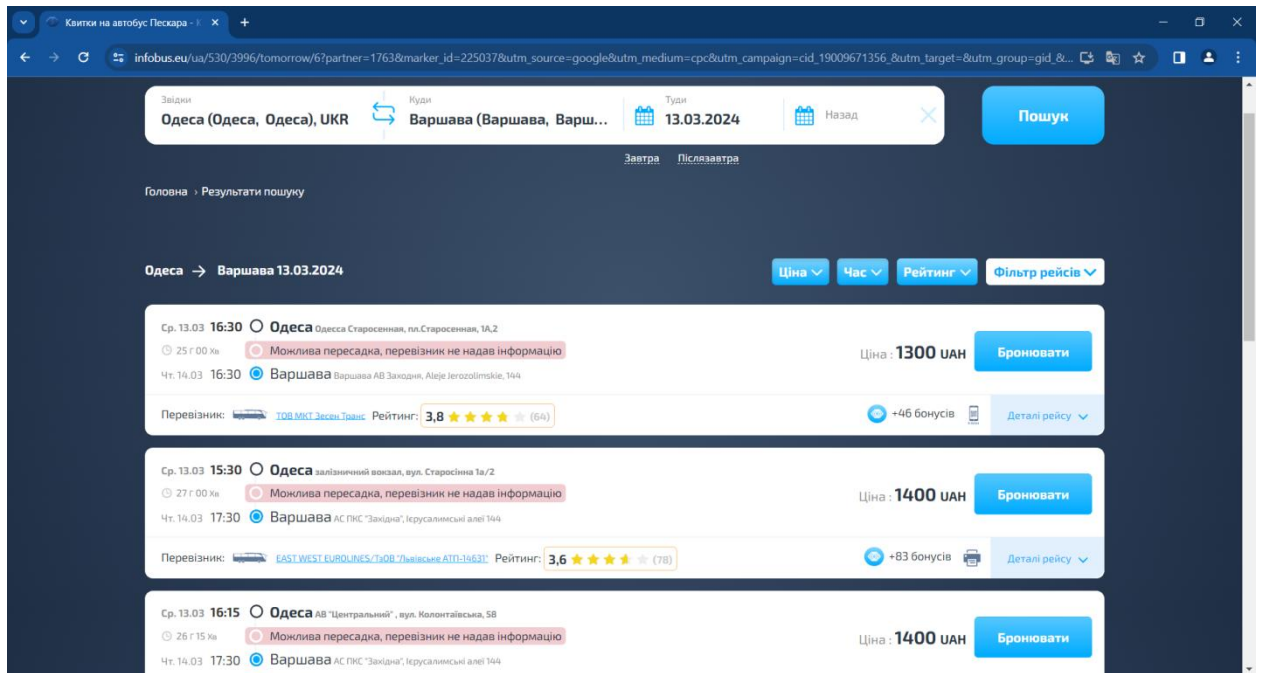


Рисунок 1.3 – Обрання прямого автобусного рейсу Одеса – Варшава

Проте, якщо обрати Львів – Варшава, то можна знайти автобус навіть від 400 грн. (рис. 1.4).

Недоліки автобусного транспорту:

а) тривалість подорожі: подорож автобусом займає більше часу порівняно з поїздом або автомобілем, особливо на великих відстанях;

б) комфорт: тривалі поїздки можуть бути виснажливими через обмежений простір, сидячі місця та відсутність можливості для повноцінного відпочинку;

в) обмежена приватність: на відміну від автомобіля, в автобусі приватність обмежена, що може бути незручним для деяких пасажирів;

г) затримки та непередбачувані обставини: подорож автобусом може бути піддана затримкам через дорожні умови, погодні фактори або інші непередбачувані ситуації;

д) обмеження на зупинки: автобуси можуть зупинятися тільки на визначених станціях або зупинках, що обмежує можливості для перерв на шляху.

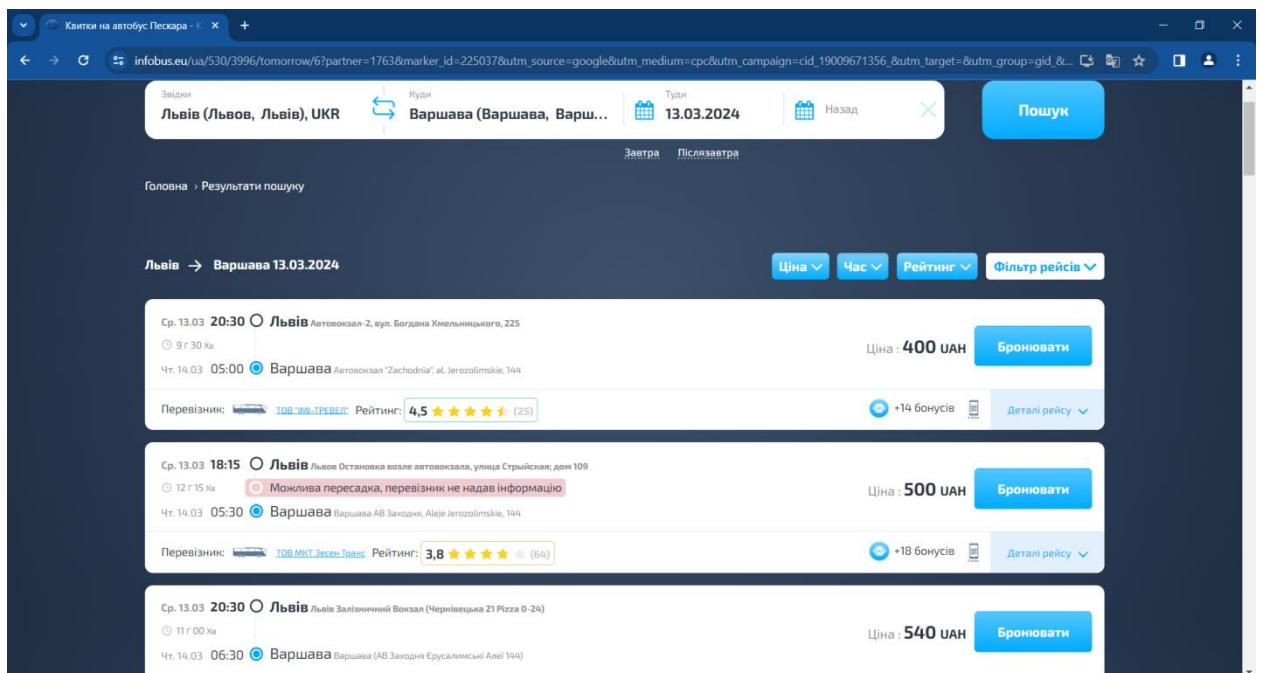


Рисунок 1.4 – Обрання комбінованого автобусного шляху Одеса – Варшава через складовий рейс Львів – Варшава

З усіх визначених недоліків автобусного сполучення, для маршруту Одеса – Варшава актуальними є всі пункти від а) до д), тобто п'ять основних недоліків.

Детальніше зупинимося на пункті а), оскільки решта є очевидними і не потребують додаткового аналізу. Час поїздки автобусом можна орієнтовно

обчислити за методикою, описаною в пункті 1.2.1, з урахуванням певних відмінностей. У результаті отримуємо:

$$t_{\text{рш}} = \sum_1^n t_i = \bar{t}_{\text{чч}} + \bar{t}_{\text{бп}} + \bar{t}_{\text{уб}} + \bar{t}_{\text{пб}} + \bar{t}_{\text{зс}},$$

де  $\bar{t}_{\text{чч}}$  – майже не відрізняється від автомобільного;

$\bar{t}_{\text{бп}}$  – існує окрема черга для автобусів, але її показник знаходиться у межах тих же 12 – 14 годин;

$\bar{t}_{\text{уб}}$  – 2 години при кількості пасажирів близька 50 осіб у автобусі;

$\bar{t}_{\text{пб}}$  – 2 години при кількості пасажирів близька 50 осіб у автобусі;

$\bar{t}_{\text{зс}}$  – кожні 3 години протягом  $\bar{t}_{\text{чч}}$  по 10 хвилин кожна, тобто близько 1 години.

Слід зауважити, що додаткову умову, пов'язану із обліком часу відпочинку водія – не використовуємо, адже на такі далекі відстані у автобусі завжди є два водія.

Отже, отримаємо наступний показник  $t_{\text{рш}}$ :

$$t_{\text{рш}} = 16 + 14 + 2 + 2 + 1 = 35 \text{ (год.)}$$

Як видно, розрахунковий час подорожі від станції «Одеса-Головна» до станції «Варшава-Центральна» складає 1,5 доби. При цьому кількість недоліків для автобусного маршруту на таку відстань складає 5, а переваг – лише 2. Навіть другий пункт, де зазначено, що «деякі автобусні компанії пропонують комфортабельні сидіння, кондиționери, Wi-Fi та інші зручності, що можуть зробити подорож приємною», є сумнівним, оскільки той, хто хоча б раз подорожував автобусом більше 1,5 доби, навряд чи погодиться назвати таку подорож комфортною.

З проведеного аналізу можна зробити такі висновки:

Мінімізація вартості: цей шлях має сенс розглядати лише за критерієм економії. Можна скомбінувати маршрут через Львів, де вартість квитка складає 400 грн, але час очікування між рейсовими пересадками може виявитись занадто довгим, що зменшить переваги цього варіанту.

Час: цей шлях може бути швидшим за автомобільний, але лише за умови, що в автомобілі буде лише один водій.

Комфорт: за критерієм комфорту цей маршрут не має жодних суттєвих переваг і, ймовірно, є найгіршим серед всіх можливих способів подорожі між Одесою та Варшавою.

Отже, при виборі автобуса для далеких подорожей важливо враховувати власні потреби в комфорті, критерії вартості, гнучкості та особисті уподобання. Наприклад, якщо є нетермінові справи у Львові або запланована зустріч із друзями, можна спланувати день у Львові, а ввечері (о 20:30) вирушити автобусом до Варшави за найнижчою ціною.

### **1.2.3 Шлях поїздом**

Одним із популярних способів переміщення між Одесою та польськими містами є подорож потягом. Такий вид транспорту має як переваги, так і недоліки.

Переваги подорожі поїздом:

Комфорт: поїзди зазвичай пропонують зручні сидіння з можливістю подорожувати в лежачих вагонах, переміщатися по потягу, а також вживати їжу та напої в спеціальних вагонах.

Видовищність: подорожуючи потягом, можна насолоджуватися краєвидами та природою через вікно, оскільки багато залізничних маршрутів проходять через мальовничі місцевості, що додають приємних вражень під час тривалих подорожей.

Швидкість: на деяких маршрутах поїзди можуть розвивати високу швидкість, що робить їх зручними для подорожей на великі відстані.

Екологічність: поїзди є більш екологічно чистим видом транспорту в порівнянні з автомобілями або автобусами, особливо коли використовується електропотяг, який працює на відновлюваних джерелах енергії.

Недоліки подорожі поїздом:

Тривалість подорожі: подорож поїздом може зайняти більше часу, особливо на довгих відстанях, зокрема коли мова йде про пасажирські поїзди (не швидкі), що часто мають нижчу вартість квитка.

Обмежений доступ: не всюди є залізничні мережі, тому доступ до поїздів може бути обмеженим, особливо в сільських районах або в країнах з менш розвиненою інфраструктурою.

Вартість: у деяких випадках вартість квитків на поїзд може бути вищою, ніж на інші види транспорту, особливо якщо обирати міжнародні поїзди з підвищеним комфортом (наприклад, зі станції «Одеса-Головна» до станції «Варшава-Центральна» з пересадкою в «Перемишлі»).

Прив'язка до розкладу руху: рух поїздів може бути обмежений конкретним графіком, що може бути незручним для пасажирів, які потребують гнучкості в плануванні.

Враховуючи обставини переміщення біженців між Одесою та Польщею, до переваг поїздів можна віднести пункти: комфорт і швидкість, які є важливими для довгих подорожей. Однак серед недоліків слід зазначити тривалість подорожі, вартість та залежність від розкладу, що може створити додаткові незручності.

Загалом, вибір між поїздом та іншими видами транспорту залежить від конкретних обставин, зручностей і індивідуальних вподобань. Однак, можна стверджувати, що поїзди є більш комфортними для тривалих подорожей порівняно з іншими видами транспорту (крім авіаперевезень).

## 2 ПІДБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ВАРІАНТІВ

### 2.1 Пошук можливостей подорожі поїздом

Розпочнемо з аналізу доступних поїздів між станціями «Одеса-Головна» та «Варшава-Центральна». Для цього використовуємо офіційний ресурс «Укрзалізниці» [2].

Під час спроби знайти пряме сполучення (рис. 2.1) з'ясувалося, що станом на 2024 рік можливість придбання прямих квитків на залізничний маршрут між Одесою та Варшавою відсутня.

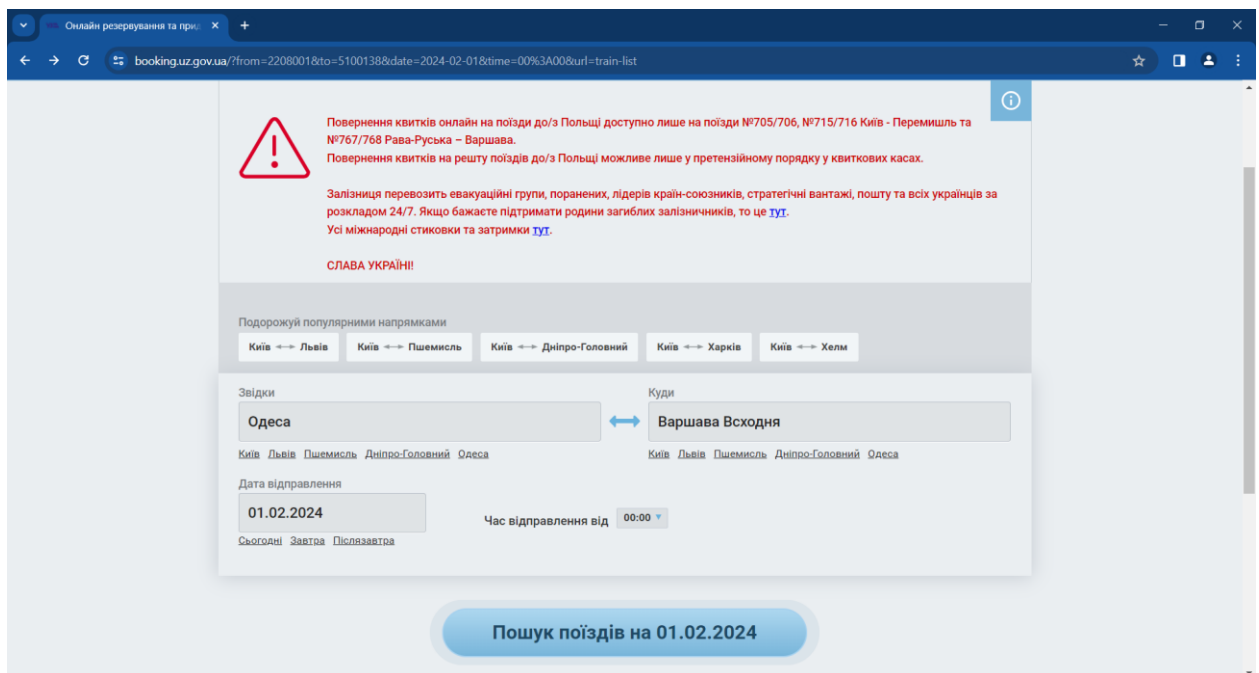


Рисунок 2.1 – Пошук прямих рейси поїздів між Одесою та Варшавою

Після спроби використати опцію «Пошук маршрутів із пересадкою» (рис. 2.2), можемо підтвердити, що можливість придбати квитки на прямий поїзд між Одесою та Варшавою відсутня. Офіційний ресурс видає повідомлення: «По заданому Вами напрямку маршрути не знайдено».

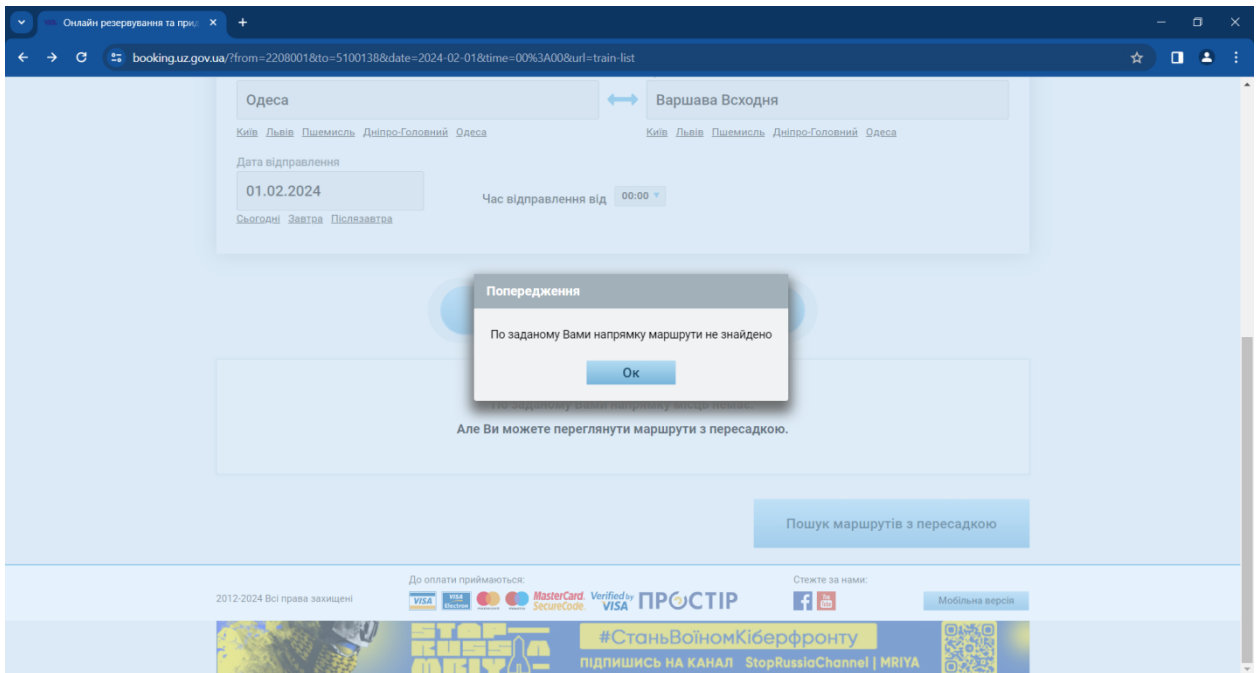


Рисунок 2.2 – Пошук залізничних маршрутів між Одесою та Варшавою із пересадкою

## 2.2 Інтеграція проміжної станції для реалізації умовного переходу

Як видно, задачу пошуку залізничного маршруту між станціями «Одеса-Головна» та «Варшава-Центральна» неможливо вирішити без додавання проміжної станції (ПС) на гіпотетичному маршруті. Проміжна станція виконує роль транспортного хабу, забезпечуючи умовний перехід для відпрацювання альтернативних варіантів, у разі коли прямий рейс недоступний.

«Умовний перехід – це конструкція у програмуванні, яка дозволяє виконувати певний блок коду лише у випадку виконання (невиконання) певної умови. Якщо умова істинна, то виконується один блок коду; якщо умова хибна, то виконується інший» [3].

Розглянемо можливість використання проміжних станцій-хабів після невдалого результату перевірки умови «Прямий рейс знайдено?».

## 2.3 Відпрацювання множинного вибору

«Вибір множини, або множинний вибір, є підходом до програмування, де вибирається один або декілька шляхів виконання коду залежно від заданих умов. Це може бути реалізовано за допомогою різних мов програмування різними способами» [4].

«В багатьох мовах програмування існують конструкції для множинного вибору. Наприклад, у багатьох мовах, таких як C++, Java, або Python, для цього використовується конструкція `switch` або `case` (у C++ та Java) або `match` (у Rust або Scala)» [5], [6].

Приклад використання множинного вибору у мові Python:

```

day_of_week = 3
switcher = {
    1: "Понеділок",
    2: "Вівторок",
    3: "Середа",
    4: "Четвер",
    5: "П'ятниця",
    6: "Субота",
    7: "Неділя"
}

day_name = switcher.get(day_of_week, "Невірний день тижня")
print(day_name)
` ``

```

У наведеному прикладі, якщо значення `day_of_week` дорівнює 3, програма виведе "Середа". У разі, якщо змінна `day_of_week` матиме інше значення, виведеться повідомлення "Невірний день тижня". Такий підхід дозволяє ефективно реалізувати вибір виконання коду залежно від значень змінних або виразів.

Серед усіх залізничних станцій України та Польщі розглянемо потенційні проміжні станції, які можна використати для створення маршруту з пересадкою між Одесою та Варшавою.

До цього набору входять такі станції:

Київ – для подальшого маршруту «Київ» – «Варшава»;

Львів – для подальшого маршруту «Львів» – «Варшава»;

Перемишль – для подальшого маршруту «Перемишль» – «Варшава»;

Хелм – для подальшого маршруту «Хелм» – «Варшава».

Ця логічне множинне відношення буде виглядати як:

$$\{ \text{Одеса} - \text{Варшава} \} \ni \langle \text{Проміжна станція} \rangle \oplus \begin{cases} \text{Київ} \\ \text{Львів} \\ \text{Перемишль} \\ \text{Хелм} \end{cases} \blacksquare$$

Тобто множина {Одеса – Варшава} містить як ПС, яка буде дорівнювати одному зі значень (виключне «або») множини {Київ або Львів або Перемишль або Хелм}.

## 2.4 Розрахунок множини шляхів із пересадкою через проміжну станцію

Вибір множини шляхів буде здійснюватися через виключний вибір однієї з проміжних станцій (ПС) для пересадки. У наступному розділі буде проведено моделювання таких шляхів.

### 2.4.1 Алгоритм розрахунку показника комфорту

Для введення показника комфорту ми розподілимо значення цього показника між існуючими класами залізничних вагонів таким чином, щоб вагони вищого класу отримували більший показник комфорту (ПК).

Крім того, до ПК додамо залежність від наявності ПС: так

$$pk = \frac{\bar{k}}{2^n}, \quad (2.1)$$

де  $pk$  – ПК;

$\bar{k}$  – середнє значення класу вагону (так, наприклад, якщо подорож відбувається двома класами, то середнє значення буде дорівнювати середньому арифметичному цих класів);

$n$  – кількість ПС.

Нагадуємо, що прямий шлях поїздом із Одеси до Варшави без ПС (тобто із одиницею в знаменнику формули (2.1)) відсутній.

Створимо масив ПК і додамо ці значення до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основний масив показників комфорту

Клас вагону	$k$	$n=1$	$n=2$	$pk \forall n[1, 2]$
Сидячий 2-го класу (у т. ч. інтерсіті) або електричка	2	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{2}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{2}{4}$	1; 0,5
Плацкарт або сидячий 1-го класу (у т. ч. інтерсіті)	3	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{3}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{3}{4}$	1,5; 0,75
Купе	4	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{4}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{2}{2}$	2; 1
Люкс	5	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{5}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{5}{4}$	2,5; 1,25

#### 2.4.2 Визначення показника доступності

Введемо до порівняльних характеристик показник доступності (ПД), позначений як  $pd$ . У разі, якщо з будь-якої причини конкретний шлях стає недоступним, показник доступності для цього шляху набуває значення «логічного нуля», що означає, що цей шлях виключається з подальшого розгляду та порівняння. Якщо ж шлях є доступним (за замовчуванням), ПД приймає значення «логічної одиниці», тобто:

$$pd \in [1 \vee 0].$$

## 3 МОДЕЛІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ОБРАНИМИ МНОЖИНАМИ

### 3.1 Маршрут через Київ

Маршрут через Київ є привабливим варіантом, оскільки має кілька важливих переваг:

- велика кількість поїздів між Одесою та Києвом;
- пересадковий хаб з розвиненою інфраструктурою;
- столиця України з її численними перевагами.

#### 3.1.1 Маршрут до Києва

Побудуємо множину залізничних маршрутів  $\{K\}$ , яка включатиме всі можливі шляхи потягом від Одеси до Києва. Для цього використовуємо офіційний сайт «Укрзалізниці» [2] (рис. 3.1).

The screenshot shows the search results for routes from Odessa to Kyiv on 01.02.2024. The search criteria are Odessa to Kyiv on 01.02.2024. Two routes are listed:

№ поїзда	Звідки / Куди	Дата	Відправлення / Прибуття	Тривалість	Вільних місць
148 Ш Маршрут	Одеса-Головна Київ-Пасажирський	Відправлення: четвер, 01.02.2024 Прибуття: п'ятниця, 02.02.2024	17:23 09:03	15:40	Л 12 К 218 П 17
106 Ш Маршрут	Одеса-Головна Київ-Пасажирський	Відправлення: четвер, 01.02.2024 Прибуття: п'ятниця, 02.02.2024	21:30 06:45	9:15	Л 27 К 217

Рисунок 3.1 – Залізничне сполучення між «Одеса-Головна» та «Київ-Пасажирський»

Представимо знайдені параметри у вигляді таблиці для подальшого аналізу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Дані для аналізу шляху з Одеси до Києва поїздами

ПС	№ поїзда	Відправлення- Прибуття (год : хв - год : хв)	Тривалість (год : хв)	Вартість, грн		
				Люкс	Купе	Плацкарт
Київ	148 Ш	17:23 – 09:23	15:40	986,81 <sup>1)</sup>	426,37 <sup>1)</sup>	252,17 <sup>1,2)</sup>
	106 Ш	21:30 – 06:45	9:15	1695,47 <sup>1)</sup>	697,67 <sup>1)</sup>	–

«Може бути застосовано одну з пільг:  
<sup>1)</sup> Вартість квитка знижується на 50% при наявності пенсійної пільги (інвалідність, постраждалих тощо);  
<sup>2)</sup> Вартість квитка знижується на 50% при наявності студентської пільги» [2]

На основі отриманих параметрів побудуємо гістограми, які відображають ключові дані, що визначають вибір маршруту для заданої множини  $\{K\}$  (рис. 3.2, 3.3).

Слід також зазначити, що вибір можливий і на етапі визначення рівня комфорту. Наприклад, вартість проїзду у вагоні класу «Люкс» поїзда №148 є у 2,3 рази вищою, ніж у класі «Купе», та майже у 4 рази вищою, ніж у класі «Плацкарт».

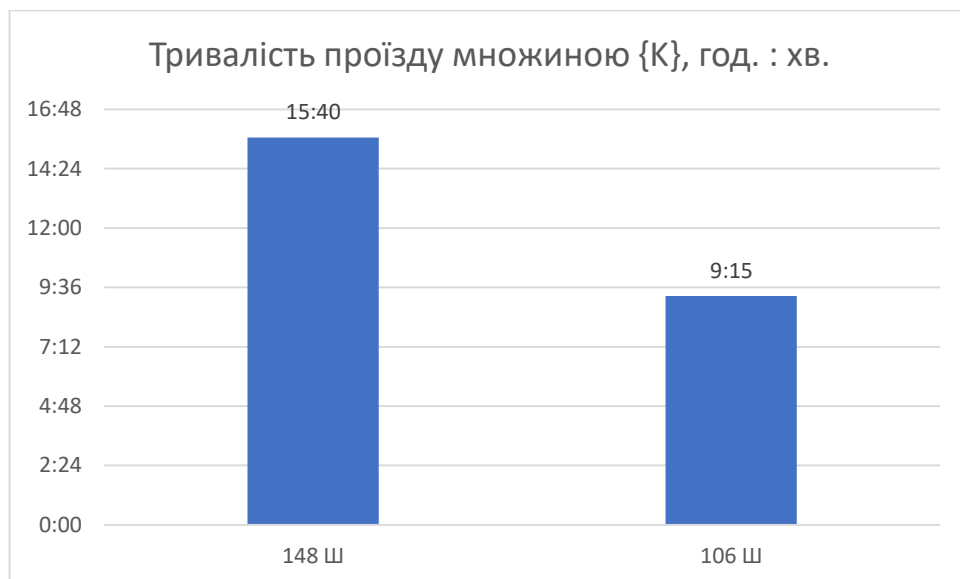


Рисунок 3.2 – Гістограма часу залізничного сполучення між станціями «Одеса-Головна» та «Київ-Пасажирський»

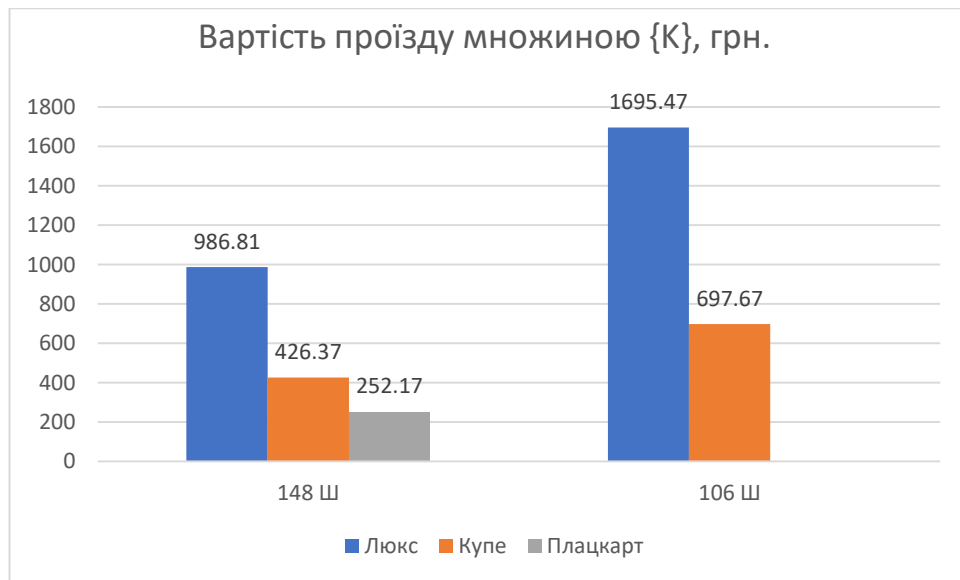


Рисунок 3.3 – Гістограма вартості квитків між станціями «Одеса-Головна» та «Київ-Пасажирський»

### 3.1.2 Маршрут після Києва

На перший погляд, найшвидшим та найкомфортнішим шляхом до Варшави є прямий поїзд Київ – Варшава, проте цей маршрут має низку суттєвих проблем:

- відсутність квитків: на сервісі [2] у будь-який момент пошуку квитків вони можуть бути недоступні (рис.);
- обмежений період продажу квитків: квитки починають продаватися лише за 20 діб до дати виїзду, починаючи з 08:00, і вже через 2-3 хвилини вони можуть бути розпродані;
- ажіотажний попит: величезний попит на ці квитки унеможливає їх вільну купівлю;
- обмежене планування: неможливо спланувати подорож менш ніж за 20 діб до виїзду.

Таким чином, можна зробити висновок, що показник доступності для цього поїзда приймає значення «логічного нуля» ( $pd := 0$ ), і, відповідно, цей маршрут виключається з нашого порівняння.

Далі спробуємо знайти інші можливі маршрути поїздом з Києва до Варшави. Це можуть бути:

{Київ – Перемишль};

{Київ – Хелм} – поїзд з Києва, Дніпра або Харкова.

Множину 1 можна виключити з розгляду, оскільки існує вже альтернативний маршрут через {Одеса – Перемишль}. Таким чином, подорож до Перемишля через Київ включає додаткову проміжну станцію, що значно знижує показник комфорту (ПК). Крім того, за вартістю квитка {Київ – Перемишль} дорожчий за {Одеса – Перемишль}, не враховуючи вартості {Одеса – Київ}, і за загальним часом подорожі цей маршрут програє.

Отже, єдиною альтернативною множиною, яку можна розглядати для поїздки з Києва, є {Київ – Хелм}. Далі розглянемо цей маршрут за основними показниками.

Згідно з пошуком на [2], для маршруту Київ – Хелм (ПС {С}) є три доступні поїзди (рис. 3.4).

Пошук поїздів на 18.02.2024

№ поїзда	Звідки / Куди	Дата	Відправлення / Прибуття	Тривалість	Вільних місць
119 П Маршрут	Дніпро-Головний Хелм	Відправлення	неділя, 18.02.2024 06:27	11:53	Л 10
		Прибуття	неділя, 18.02.2024 17:20		К 227
019 К Маршрут	Київ-Пасажирський Хелм	Відправлення	неділя, 18.02.2024 18:19	11:36	К 156
		Прибуття	понеділок, 19.02.2024 04:55		
023 К Маршрут	Київ-Пасажирський Хелм	Відправлення	неділя, 18.02.2024 22:40	13:25	Л 2
		Прибуття	понеділок, 19.02.2024 11:05		К 295

Рисунок 3.4 – Залізничне сполучення між «Київ-Пасажирський» та «Хелм»

Представимо знайдені параметри у вигляді таблиці для подальшого аналізу (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Дані для аналізу шляху з Києва до Хелма поїздами

ПС	№ поїзда	Відправлення- Прибуття (год : хв – год : хв)	Тривалість (год : хв)	Вартість, грн		
				Люкс	Купе	Плацкарт
Хелм	119 П	06:27 – 17:20	11:53	3034,89	1893,84	–
	019 П	18:19 – 04:55	11:36	–	1893,84	–
	023 К	22:40 – 11:05	13:25	–	1893,84	–
Пільги на міжнародне сполучення не діють						

З табл. 3.2 видно, що вартість проїзду не залежить ані від номера поїзда, ані від тривалості подорожі, ані від дня тижня. Присутня залежність тільки від класу вагону та й тільки у одному з поїздів №119 П.

Однак слід зазначити, що при відпрацюванні множини {Одеса – Київ} та {Київ – Хелм} неможливо здійснити пересадку з поїзда №106 Ш на поїзд №119 П (6:45 та 6:27 відповідно). Таким чином, для того, щоб сісти на наступний поїзд №019 П, потрібно буде чекати до 18:00.

Отже, внесемо отримані дані для множини {К} + {С} до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Зібрані дані про маршрути та час очікування поїздів у вигляді множин {К} + {С}

ПС	№ поїздів	Час до {К}, год. : хв.	Очікування, год. : хв.	Час до {С}, год. : хв.	$\sum t$ , діб
{К} Λ	148 Ш + 019 П	15:40	8:56	11:36	1,508
{С}	106 Ш + 019 П	9:15	11:34	11:36	1,351

Слід додати, що сумарний час витрачений на подорож, слід переводити у доби з метою нормалізації [7].

«Побудуємо діаграму Ганта (також стрічкова діаграма, графік Ганта) – діаграма, яка використовується для ілюстрації плану, графіка робіт за будь-яким проєктом. Є одним з засобів планування та управління проєктами» [8].

«Діаграма Ганта являє собою відрізки (графічні плашки), розміщені на горизонтальній шкалі часу. Кожен відрізок відповідає окремому завданню або підзадачі. Завдання і підзадачі, складові плану, розміщуються по вертикалі. Початок, кінець і довжина відрізка на шкалі часу відповідають початку, кінцю і тривалості завдання. На деяких діаграмах Ганта також показується залежність між завданнями» [9].

Побудована діаграма Ганта для представлення проїзду множинами  $\{K\}$  та  $\{C\}$  наводиться на рис. 3.5. Час очікування пересадки представлено порожньою множиною  $\emptyset$ .

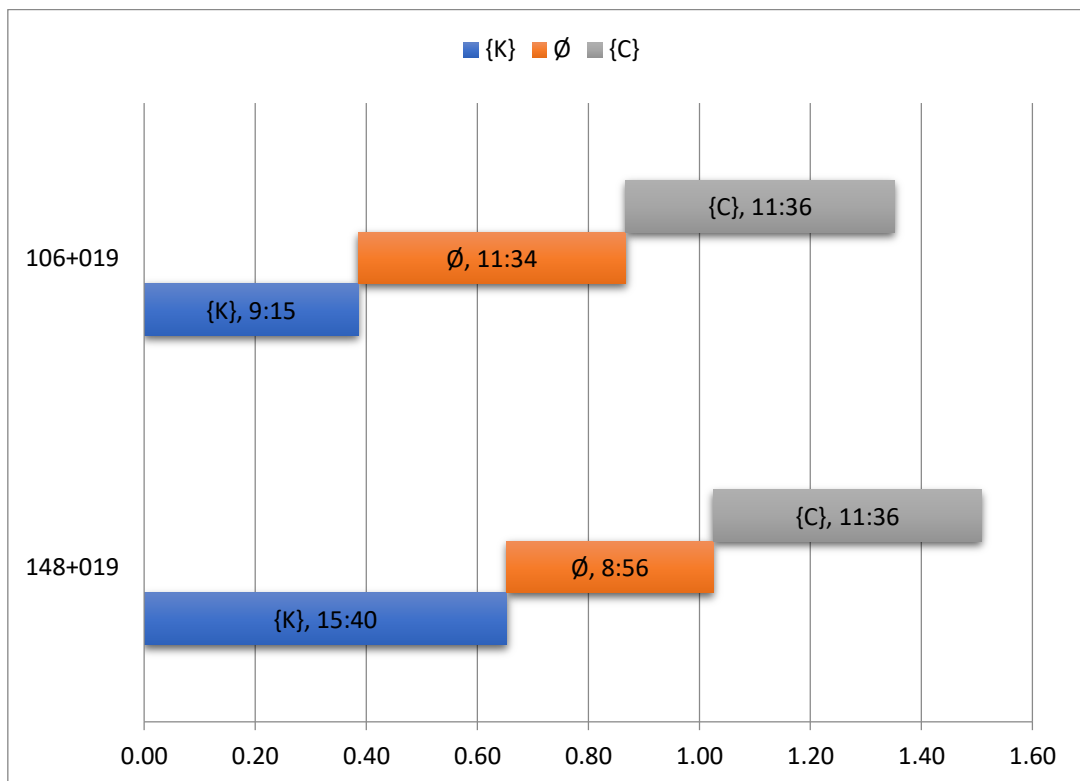


Рисунок 3.5 – Діаграма Ганта для маршруту {Одеса – Київ} та {Київ – Хелм} (на осі абсцис відкладено час у добах; порожня множина  $\emptyset$  відображає час очікування пересадки)

Згідно з формулою (2.1) та базовими значеннями з таблиць 3.1 і 3.2, обчислюємо ПК для різних комбінацій цих маршрутів (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Оцінка показника комфорту для комбінованих маршрутів

Комбінація шляхів (№ поїздів)	$\bar{k}$	$n=2 (\{K\} \wedge \{C\})$	$pk$
найдешевший (148 + 019)	$\frac{3 + 4}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{3,5}{4}$	0,875
найшвидший (106 + 019)	$\frac{4 + 4}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{4}{4}$	1
найшвидший (клас «Люкс») (106 + 019)	$\frac{5 + 5}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{5}{4}$	1,25

Як видно, найшвидший маршрут у вагонах класу «Люкс» є водночас і найкомфортнішим ( $pk = 1,25$ ).

На основі отриманих даних побудуємо діаграми витрат для маршруту  $\{K\} + \{C\}$  (рис. 3.6). На діаграмі відображено три критерії вартості, відсортовані за типами маршрутів: найдешевший, найшвидший і найкомфортніший.

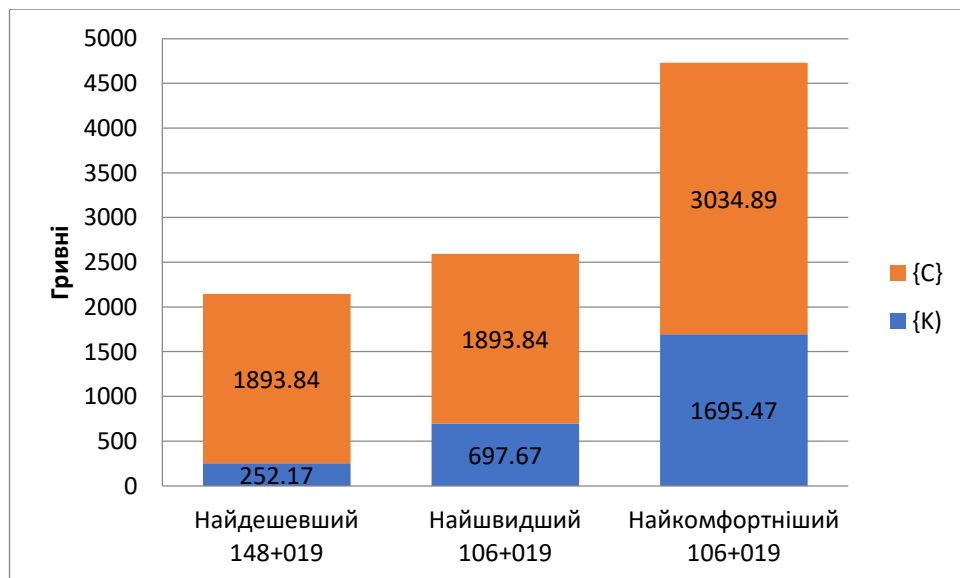


Рисунок 3.6 – Гістограма вартості для множин за критеріями оптимізації  $\{K\} + \{C\}$

## 3.2 Маршрут через Львів

Маршрут через Львів є досить прийнятним варіантом, що має низку привабливих характеристик:

- а) велика кількість поїздів на маршруті Одеса – Львів;
- б) розвинений пересадковий хаб із сучасною інфраструктурою;
- в) різноманітність маршрутів до Польщі, що охоплюють різні напрямки.

### 3.2.1 Маршрут до Львова

Побудуємо множину залізничних маршрутів {L}, яка включатиме всі можливі шляхи потягом від Одеси до Києва. Для цього використаємо офіційний ресурс «Укрзалізниці» [2] (рис. 3.7).

Представимо знайдені параметри у вигляді таблиці для подальшого аналізу (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Дані для аналізу шляху з Одеси до Львова поїздами

ПС	№ поїзда	Відправлення- Прибуття (год. : хв. – год. : хв.)	Тривалість (год. : хв.)	Вартість, грн		
				Люкс	Купе	Плацкарт
Львів	038 Ш	14:45 – 02:24	11:39	1670,56 <sup>1)</sup>	323,60 <sup>1)</sup>	206,44 <sup>1,2)</sup>
	026 Ш	18:19 – 06:10	11:51	1076,49 <sup>1)</sup>	690,03 <sup>1)</sup>	269,39 <sup>1,2)</sup>
	136 Ш	18:19 – 06:10	11:51	–	323,60 <sup>1)</sup>	206,44 <sup>1,2)</sup>
	012 Ш	19:46 – 06:18	10:32	1986,68 <sup>1)</sup>	812,03 <sup>1)</sup>	–
«Може бути застосовано одну з пільг:						
1) Вартість квитка знижується на 50% при наявності пенсійної пільги (інвалідність, постраждалих тощо);						
2) Вартість квитка знижується на 50% при наявності студентської пільги» [2]						

Варто зазначити, що поїзди № 026 Ш та 136 Ш – це два поїзди, які в множині  $\{L\}$  курсують як один об'єднаний:

$$026 \text{ Ш} \cup 136 \text{ Ш} \forall \{L\}.$$

Вже після  $\{L\}$  – розділяються та спрямовуються до Ясині та до Чернівців.

На основі отриманих параметрів побудуємо гістограми, які відображають ключові дані, що визначають вибір маршруту для заданої множини  $\{L\}$  (рис 3.7, 3.8).



Рисунок 3.7 – Гістограма часу залізничного сполучення між станціями «Одеса-Головна» та «Львів»

Аналіз даних показує, що для множини  $\{L\}$  доступні три поїзди (один із них об'єднаний). Вибір можливий і на етапі визначення рівня комфорту, однак, наприклад, вартість проїзду у вагоні класу «Люкс» поїзда №038 Ш у 5,2 рази перевищує вартість проїзду у класі «Купе». Оскільки цей поїзд не є найшвидшим, а невиправдано високе перевищення ціни (екстремум) «Люкс»

над «Купе» нівелює переваги за показником комфорту (ПК), варіант проїзду у вагоні «Люкс» цього поїзда виключається з подальшого порівняння.

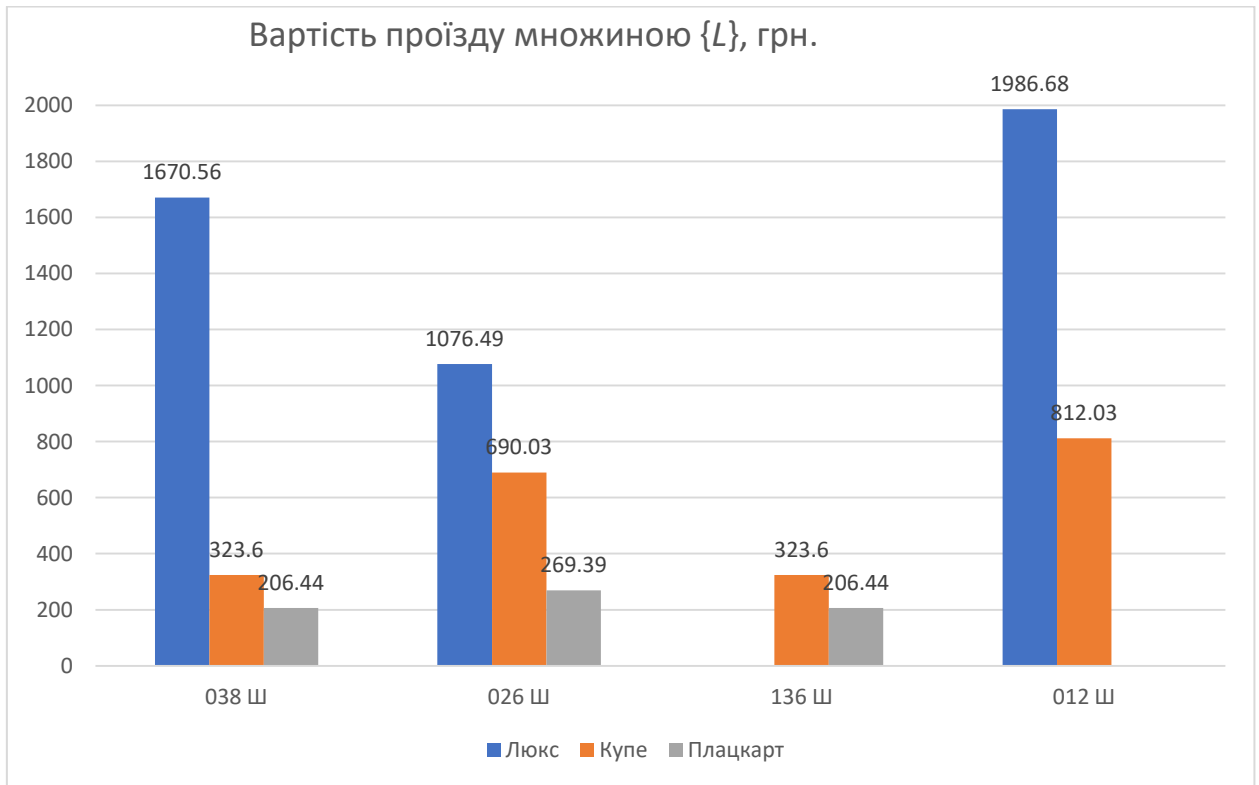


Рисунок 3.8 – Гістограма вартості квитків між станціями «Одеса-Головна» та «Львів»

З огляду на критерій часу, розглядається три поїзди. Однак порівняння вартості квитків у об'єднаному поїзді показує, що ціна проїзду у класах «Купе» та «Плацкарт» поїзда №026 Ш є вищою, ніж у відповідних класах поїзда №136 Ш. Різниця у вартості для класу «Купе» становить 2,13 рази, що також вважається невиправданим. Це означає, що класи «Купе» та «Плацкарт» поїзда №026 Ш також виключаються з порівняння.

Таким чином, до остаточного порівняння для множини  $\{L\}$  залишаються наступні варіанти проїзду:

- а) № 038 Ш («Купе»; «Плацкарт»);
- б) № 026 Ш («Люкс») ∪ № 136 Ш («Купе»; «Плацкарт»);
- в) № 012 Ш («Люкс»; «Купе»).

### 3.2.2 Маршрут після Львова

Шлях після проміжної станції (ПС) Львів представляє собою розгалужену мережу рішень, яка включає кілька наступних ПС:

- а) Рава-Руська – множина  $\{R\}$ ;
- б) Перемишль (Przemyśl) – множина  $\{P\}$ .

#### 3.2.2.1 Маршрут через станцію Рава-Руська

Проаналізуємо спочатку множину  $\{R\}$  (рис. 3.9) [2].

№ поїзда	Звідки / Куди	Дата	Відправлення / Прибуття	Тривалість	Вільних місць
867 Л Маршрут	Коломия Рава-Руська	Відправлення	серета, 14.02.2024	07:14 08:38	1:24
		Прибуття	серета, 14.02.2024		
865 Л Маршрут	Коломия Рава-Руська	Відправлення	серета, 14.02.2024	20:27 21:58	1:31
		Прибуття	серета, 14.02.2024		

Рисунок 3.9 – Залізничне сполучення між «Львів» та «Рава-Руська»

Представимо знайдені параметри у вигляді таблиці для подальшого аналізу (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Дані для аналізу шляху з Львова до Рава-Руської поїздами

ПС	№ поїзда	Відправлення-	Тривалість	Вартість, грн
----	----------	---------------	------------	---------------

		Прибуття (год. : хв. – год. : хв.)	(год. : хв.)	сидячий 1-го класу	сидячий 2-го класу
Рава-Руська	867 Л	07:14 – 08:38	1:24	154,43 <sup>1)</sup>	115,93 <sup>1, 2)</sup>
	865 Л	20:27 – 21:58	1:31	154,43 <sup>1)</sup>	115,93 <sup>1, 2)</sup>
«Може бути застосовано одну з пільг: <sup>1)</sup> Вартість квитка знижується на 50% при наявності пенсійної пільги (інвалідність, постраждалих тощо); <sup>2)</sup> Вартість квитка знижується на 50% при наявності студентської пільги» [2]					

Значною перевагою є те, що через множину  $\{R\}$  можна безпосередньо дістатися до Варшави (множина шляхів  $\{W\}$ ) [2].

Однак слід зазначити, що маршрут через множини  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$  включає дві проміжні станції ( $n = 2$  згідно з формулою (2.1)), що суттєво знижує показник комфорту (ПК).

Далі після  $\{R\}$  виконаємо аналіз множини  $\{W\}$  (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Дані для аналізу шляху з Рави-Руської до Варшави Вхідної поїздами

Кінцева стан- ція	№ пої- зда	Відправлення- Прибуття (год : хв – год : хв)	Тривалість (год : хв)	Вартість, грн	
				сидячий 1-го класу	сидячий 2-го класу
Варшава- Вхідня	767 Л	09:20 – 16:20 (п. ч.)	8:20	1260,02	1129,75
«Пільги на міжнародне сполучення не діють» [2]					

Виконаємо розрахунок накопичених даних для множин  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$  та внесемо результати до таблиці 3.8. Зазначимо, що поїзд №865 Л не буде враховано в розрахунках, оскільки час очікування на пересадку перевищує 14 годин навіть за найсприятливіших умов.

Таблиця 3.8 – Зібрані дані про маршрути та час очікування поїздів у вигляді множин  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$

ПС	№ поїздів	Час до $\{L\}$ , год. : хв.	Очікування, год. : хв.	Час до $\{R\}$ , год. : хв.	Очікування, год. : хв.	Час до $\{W\}$ , год. : хв.	$\sum t, \text{дiб}$
$\{L\}$	038+867+767	11:39	4:50	1:24	0:42	8:00	1,108
$\Lambda$	026 $\cap$ 136+	11:51	1:04				0,959
$\{R\}$	+867+767						
$\Lambda$	012+867+767	10:32	0:56				0,899
$\{W\}$							

«Сумарний час, витрачений на подорож, слід переводити у доби з метою нормалізації» [7].

Побудована діаграма Ганта для представлення проїзду множинами  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$  наводиться на рис. 3.10. Час очікування пересадки представлено порожньою множиною  $\emptyset$ .

Спираючись на формулу (2.1) та опорні значення з табл. 3.5 – 3.7, розрахуємо ПК для комбінацій цих шляхів множинами  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$  (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Оцінка показника комфорту для комбінованих маршрутів множинами  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$

Комбінація шляхів (№ поїздів)	$\bar{k}$	$n=2 (\{L\} \wedge \{R\})$	$pk$
найдешевший (038 $\vee$ 136 + 867 + 767)	$\frac{3 + 2 + 2}{3}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{2,33}{4}$	0,58
найшвидший (012 + 867 + 767)	$\frac{4 + 3 + 3}{3}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{3,33}{4}$	0,83
найшвидший (клас «Люкс») (012 + 867 + 767)	$\frac{5 + 3 + 3}{3}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{3,67}{4}$	0,92

Як видно, найшвидший маршрут у вагонах класу «Люкс» та сидячих 1-го класу для множин  $\{R\} + \{W\}$  є також і найкомфортнішим ( $p_k = 0,92$ ). Водночас маршрут у тих самих поїздах класу «Купе» демонструє аналогічну швидкість, але поступається за показником комфорту (ПК).

На основі отриманих даних побудуємо діаграми витрат для маршрутів множинами  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$  (рис. 3.11). Діаграма включає три критерії накопичення вартості, упорядковані за типами маршрутів: найдешевший, найшвидший та найкомфортніший.

Остаточна вартість подорожі залізничними маршрутами через множини  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$  наведена у таблиці 3.10. Для нормалізації сумарні витрати на подорож подаються у тисячах гривень.

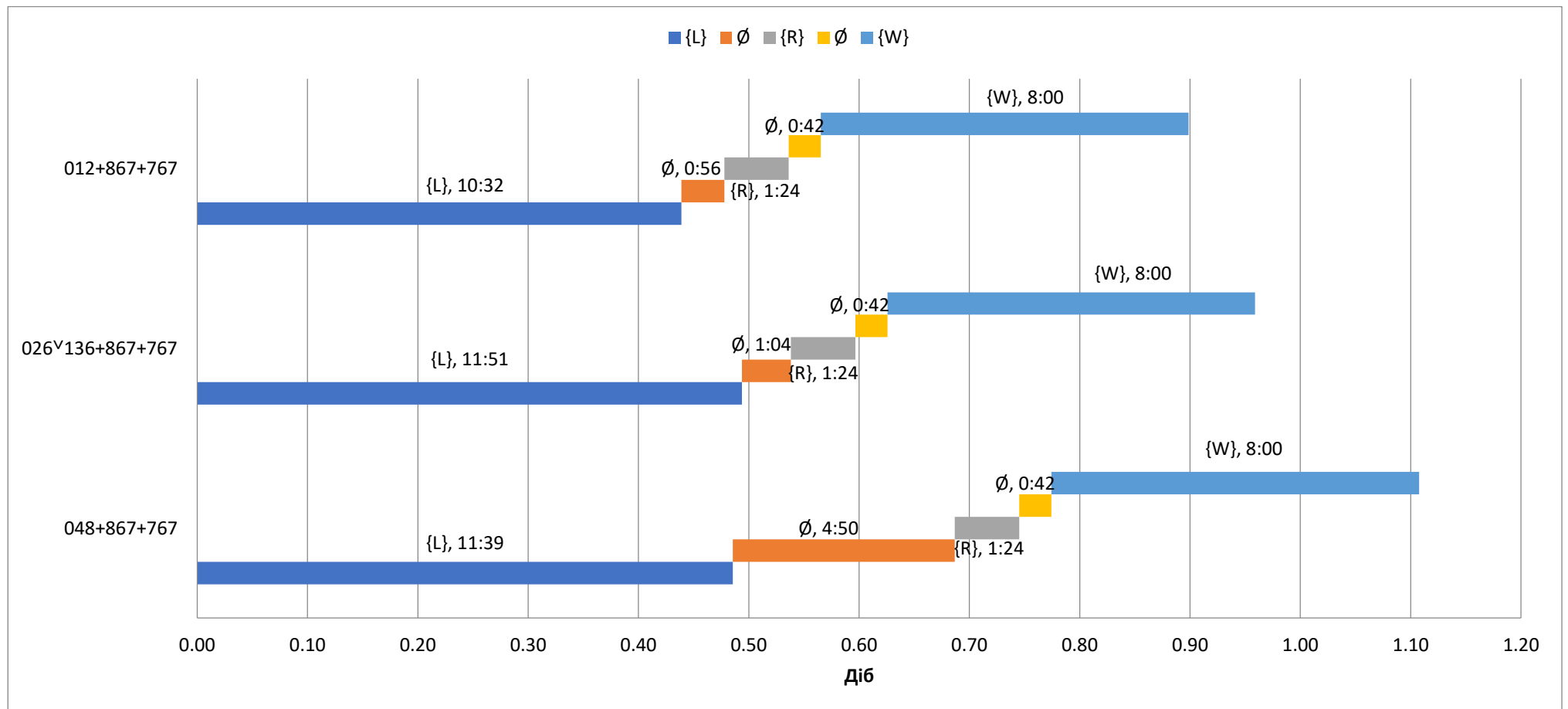


Рисунок 3.10 – Діаграма Гантта для маршруту {Одеса – Львів}; {Львів – Рава-Руська}; {Рава-Руська – Варшава Вихідня}  
(вісь абсцисс відображає час у добах; порожня множина ∅ – час очікування на пересадку)

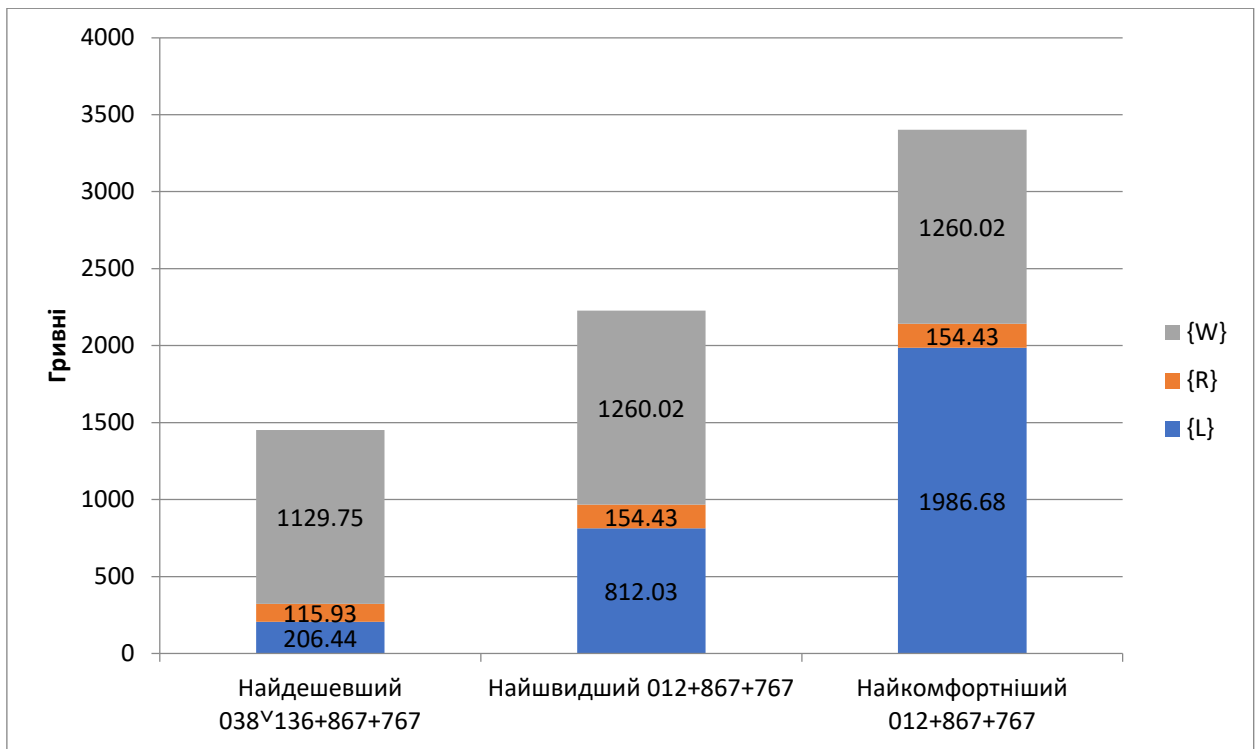


Рисунок 3.11 – Гістограма вартості для множин за критеріями оптимізації  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$

Таблиця 3.10 – Вартість маршруту залізницею через множини  $\{L\} + \{R\} + \{W\}$

Критерій оптимізації шляху та №№ поїздів	Вартість множиною, грн.			Накопичена сума, грн.	Нормалізовані витрати, тис. грн.
	{L}	{R}	{W}		
Найдешевший 038v136+867+767	206,44	115,93	1129,75	1452,12	1,452
Найшвидший 012+867+767	812,03	154,43	1260,02	2226,48	2,226
Найкомфортніший 012+867+767	1986,68	154,43	1260,02	3401,13	3,401

### 3.2.2.2 Маршрут через Перемишль

Проаналізуємо множину  $\{P\}$ : Перемишль (Przemyśl) [2].

Ситуація з наявністю квитків залишається складною і має схожість із ситуацією з поїздом Київ – Варшава. Аналіз даних за кілька днів дозволяє виявити певну тенденцію, що представлена на рис. 3.12.

Показати без вільних місць					
№ поїзда ↓↑	Звідки / Куди	Дата	Відправлення ↓ Прибуття ↓↑	Тривалість ↓↑	Вільних місць
<b>036 Ш</b> Маршрут	Одеса-Головна Пшемисль	Відправлення <small>четвер, 15.02.2024</small> Прибуття <small>четвер, 15.02.2024</small>	<b>03:08</b> <b>05:53</b>	<b>3:45</b>	<b>K 54</b> <a href="#">Вибрати</a>
<b>051 К</b> Маршрут	Київ-Пасажирський Пшемисль	Відправлення <small>четвер, 15.02.2024</small> Прибуття <small>четвер, 15.02.2024</small>	<b>03:08</b> <b>05:53</b>	<b>3:45</b>	<b>K 107</b> <a href="#">Вибрати</a>
<b>IC+ 705 К</b> Маршрут	Київ-Пасажирський Пшемисль	Відправлення <small>четвер, 15.02.2024</small> Прибуття <small>четвер, 15.02.2024</small>	<b>03:39</b> <b>04:25</b>	<b>1:46</b>	<b>C1 91</b> <a href="#">Вибрати</a> <b>C2 176</b> <a href="#">Вибрати</a>
<b>089 К</b> Маршрут	Київ-Пасажирський Пшемисль	Відправлення <small>четвер, 15.02.2024</small> Прибуття <small>четвер, 15.02.2024</small>	<b>08:34</b> <b>11:16</b>	<b>3:42</b>	<b>K 16</b> <a href="#">Вибрати</a>
<b>032 П</b> Маршрут	Запоріжжя 1 Пшемисль	Відправлення <small>четвер, 15.02.2024</small> Прибуття <small>четвер, 15.02.2024</small>	<b>13:06</b> <b>15:21</b>	<b>3:15</b>	<b>K 95</b> <a href="#">Вибрати</a>
<b>IC+ 715 К</b> Маршрут	Київ-Пасажирський Пшемисль	Відправлення <small>четвер, 15.02.2024</small> Прибуття <small>четвер, 15.02.2024</small>	<b>19:25</b> <b>20:20</b>	<b>1:55</b>	<b>C1 74</b> <a href="#">Вибрати</a> <b>C2 131</b> <a href="#">Вибрати</a>

Рисунок 3.12 – Залізничне сполучення між «Львів» та «Перемишль»

Існують доступні місця на прямий поїзд «Одеса» – «Перемишль», однак виникає логічне питання: чи є доцільність їхати через Львів, якщо доступний прямий маршрут з Одеси? Відповідь на це питання буде надано пізніше на основі результатів розрахунків.

Варто зазначити, що для цього маршруту доступні квитки класу «Купе» та сидячі місця 1-го і 2-го класів.

Для подальшого аналізу подамо знайдені параметри у вигляді таблиці даних (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Дані для аналізу шляху з Львова до Перемишля

ПС	№ поїзда	Відправлення- Прибуття <sup>1)</sup> (год. : хв. – год. : хв.)	Тривалість (год. : хв.)	Вартість, грн		
				Купе	сидячий 1-го класу	сидячий 2- го класу
Перемишль	036 Ш	03:08 – 05:53	3:45	660,1	–	–
	051 К	03:08 – 05:53	3:45	660,1	–	–
	705 К	03:39 – 04:25	1:46	–	705,36	499,57
	089 К	08:34 – 11:16	3:42	660,1	–	–
	032 П	13:06 – 15:21	3:15	660,1	–	–
	715 К	19:25 – 20:20	1:55	–	705,36	499,57
<sup>1)</sup> Час прибуття вказується за польським часом. Пільги на міжнародне сполучення не діють.						

Слід звернути увагу, що поїзди №№ 036 Ш та 051 К – це два поїзди, що множиною  $\{P\}$  йдуть як один об'єднаний:

$$036 \text{ Ш} \cup 051 \text{ Ш} \in \{P\}.$$

На основі отриманих параметрів побудуємо гістограми часових даних, які є ключовими для вибору маршруту множиною  $\{P\}$  (рис. 3.13).

Далі виконаємо розрахунок стикувальних даних для множин  $\{L\} + \{P\}$  та подамо результати у таблиці 3.12. Основним критерієм для стикування є мінімізація часу очікування між поїздами.

Таблиця 3.12 – Зібрані дані про маршрути та час очікування поїздів у вигляді множин  $\{L\} + \{P\}$ .

ПС	№ поїздів	Час до $\{L\}$ , год. : хв.	Очікування, год. : хв.	Час до $\{P\}$ , год. : хв.	$\sum t$ , діб
$\{L\} +$ $\{P\}$	038+036 $\vee$ 051	11:39	0:44	3:45	0,672
	038+705	11:39	1:15	1:46	0,611
	026 $\vee$ 136+089	11:51	2:24	3:42	0,748
	012+089	10:32	2:16	3:42	0,688

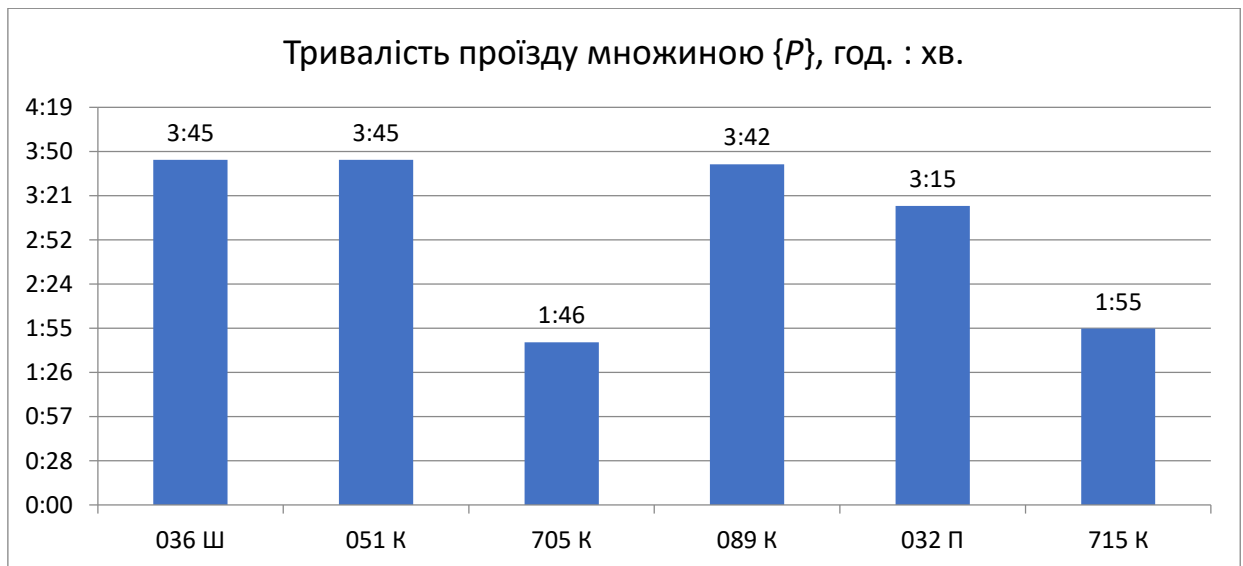


Рисунок 3.13 – Гістограма часу залізничного сполучення між станціями «Львів» та «Перемишль»

«Сумарний час, витрачений на подорож, слід переводити у доби з метою нормалізації» [7].

Побудуємо діаграму Гантта для ілюстрації маршруту множинами  $\{L\} + \{P\}$  (рис. 3.14). Час очікування пересадок буде представлений як порожні множини  $\emptyset$ .

На основі формули (2.1) та опорних значень із таблиць 3.5 і 3.11 виконаємо розрахунок показника комфорту (ПК) для комбінацій маршрутів множинами  $\{L\} + \{P\}$ . Результати наведено в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Оцінка показника комфорту для комбінованих маршрутів множинами  $\{L\} + \{P\}$

Комбінація шляхів (№ поїздів)	$\bar{k}$	$n=1 (\{L\} \wedge \{P\})$	$pk$
найдешевший (038 + 705)	$\frac{3 + 2}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{2,5}{2}$	1,25
Найшвидший (038 + 705)	$\frac{4 + 3}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{3,5}{2}$	1,75
найкомфортніший (клас «Люкс») (012 + 089)	$\frac{5 + 4}{2}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{4,5}{2}$	2,25

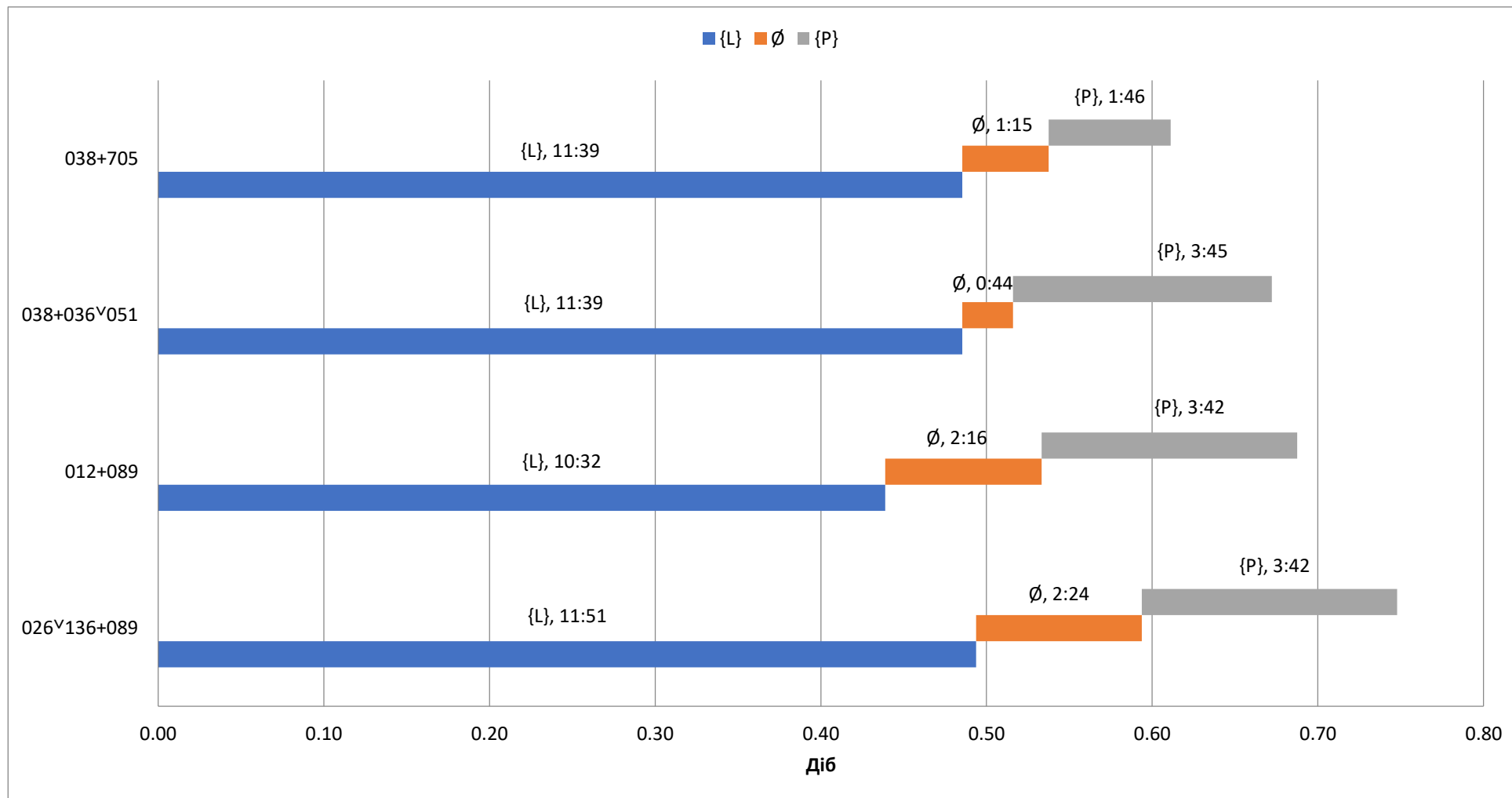


Рисунок 3.14 – Діаграма Гантта для маршруту {Одеса – Львів}; {Львів – Перемишль}; (вісь абсцисс відображає час у добах; порожня множина Ø – час очікування на пересадку)

Як видно, найшвидший маршрут відрізняється від найкомфортнішого насамперед умовами перетину кордону: у вагонах класу «Купе» порівняно із сидячими місцями в поїздах «Інтерсіті».

На основі отриманих даних побудуємо діаграми зведених витрат для маршрутів множинами  $\{L\} + \{P\}$  (рис. 3.15). Діаграми відображають три критерії накопичення вартості, упорядковані за типами маршрутів: найдешевший, найшвидший та найкомфортніший.

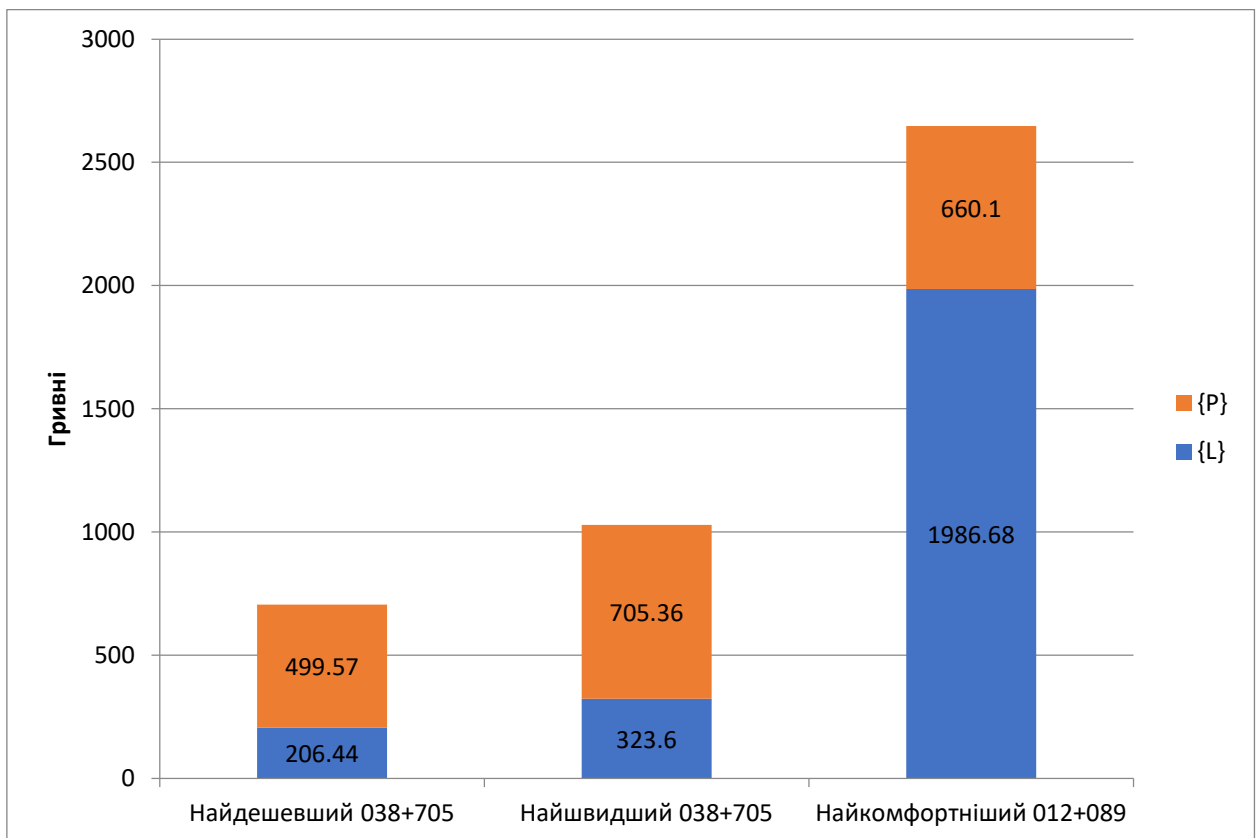


Рисунок 3.15 – Гістограма вартості для множин за критеріями оптимізації  $\{L\} + \{P\}$

Остаточна вартість подорожі залізницею маршрутом множинами  $\{L\} + \{P\}$  наведена в таблиці 3.14. Для нормалізації сумарні витрати на подорож слід перевести в тисячі гривень.

Таблиця 3.14 – Вартість маршруту залізницею через множини  $\{L\} + \{P\}$

Критерій оптимізації шляху та №№ поїздів	Вартість множиною, грн.		Накопичена сума, грн.	Нормалізовані витрати, тис. грн.
	$\{L\}$	$\{R\}$		
Найдешевший 038+705	206,44	499,57	706,01	0,706
Найшвидший 038+705	323,6	705,36	1028,96	1,029
Найкомфортніший 012+089	1986,68	660,1	2646,78	2,647

Зазначимо, що найдешевший шлях коштує трохи більше 700 гривень – 706. Цей показник важливий для порівняння з вартістю квитків на прямий поїзд Одеса – Перемишль.

### 3.3 Альтернативний маршрут електричкою через Львів на Медику

Під час дослідження теми роботи та аналізу емпіричних даних від членів Спілки було виявлено альтернативний маршрут через пішохідний перехід кордону «Шегині» – «Медика» [10].

Назвемо цей шлях ВПП (варіант із пішим переходом). ВПП є досить специфічним і підходить, здебільшого, для осіб з досвідом самостійного перетину кордону, таких як члени Спілки, на яких орієнтовано це дослідження.

Спробуємо дослідити ВПП, який складається із сукупності підмножин множини  $\{P\}$  за визначеними критеріями аналізу.

#### 3.3.1 Маршрут до Львова

Маршрут до Львова нічим не відрізняється від множини  $\{L\}$ , однак, якщо орієнтуємося не на ПК множини  $\{M\}$ , а на мінімізацію вартості, ми залишимо лише найдешевші варіанти (табл. 3.15).

### 3.3.1 Маршрут до Львова

Таблиця 3.15 – Дані для аналізу шляху з Одеси до Львова найдешевшими поїздами

ПС	№ поїзда	Відправлення-Прибуття (год. : хв. – год. : хв.)	Тривалість (год. : хв.)	Вартість плацкарту, грн.
Львів	038 Ш	14:45 – 02:24	11:39	206,44 <sup>1, 2)</sup>
	136 Ш	18:19 – 06:10	11:51	206,44 <sup>1, 2)</sup>

«Може бути застосовано одну з пільг:

1) Вартість квитка знижується на 50% при наявності пенсійної пільги (інвалідність, постраждалих тощо);

2) Вартість квитка знижується на 50% при наявності студентської пільги» [2]

### 3.3.2 Маршрут після Львова

Шлях після Львова буде виглядати наступним чином: з залізничного вокзалу «Львів» необхідно пішки перейти до приміського вокзалу (рис. 3.16), що займає близько 0,2 години (до 12 хвилин).

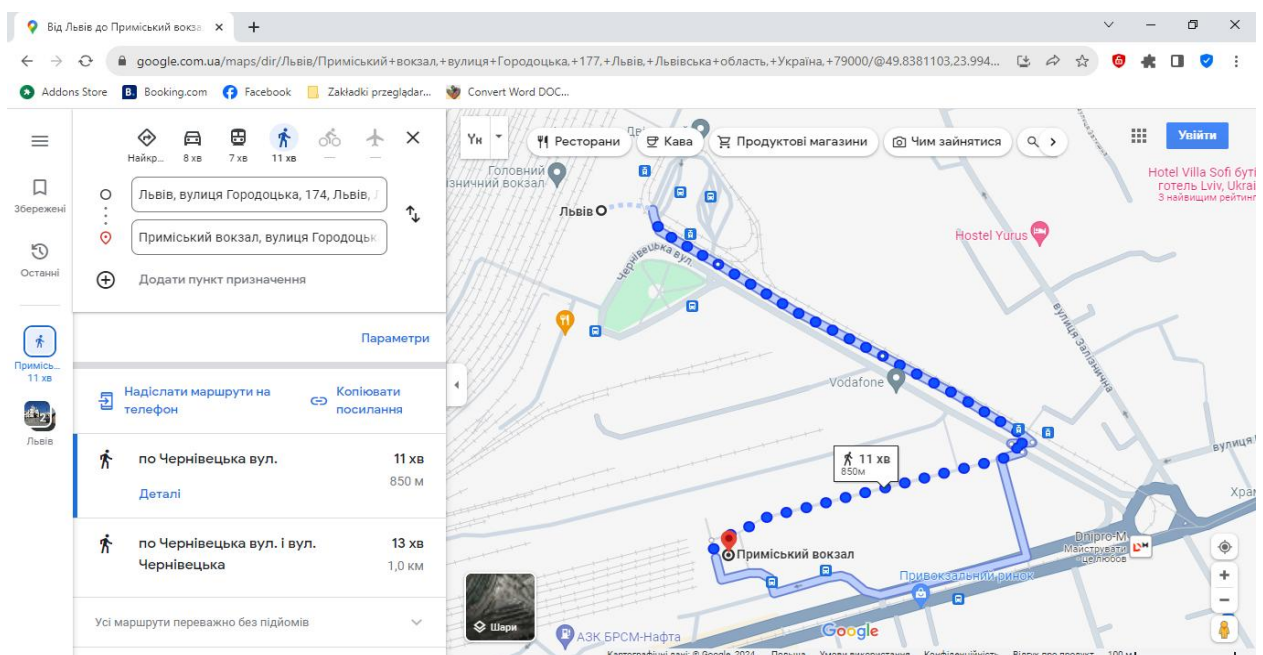


Рисунок 3.16 – Маршрут від залізничного вокзалу «Львів» до приміського

Із приміського вокзалу в бік станції «Тщенець» (підмножина  $\{T\}$ ) йдуть електрички за розкладом [11] (рис. 3.17).

Львів - Тщенець  
розклад електричок (приміських поїздів) на 22 лютого 2024

У розкладах вказано МІСЦЕВИЙ ЧАС!

Тип	Номер	Маршрут	Відправлення	Прибуття	В дорозі	Графік
	6109	Львів → Мостиська	09.01 Львів	10.56 Тщенець	1 г 55 хв	
		Львів → Тщенець	Поїздки через BlaBlaCar на автобусі або машиною на інші дати: 15.02, 16.02...		Ціна від: 75.00 UAH	21 пропозицій
	6113	Львів → Мостиська	17.40 Львів	19.38 Тщенець	1 г 58 хв	
	6119	Львів → Мостиська	20.43 Львів	22.48 Тщенець	2 г 5 хв	

Рисунок 3.17 – Розклад руху електропоїздів до станції «Тщенець»

Зведемо отримані дані щодо дістанання електропоїздами підмножиною  $\{T\}$  у табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Параметри дістанання поїздами підмножиною  $\{T\}$

ПС	№ поїзда	Відправлення-Прибуття (год. : хв. – год. : хв.)	Тривалість (год. : хв.)	Вартість, грн.
Тщенець	6109	09:01 – 10:56	1:55	41 <sup>1, 2)</sup>
	6113	17:40 – 19:38	1:58	41 <sup>1, 2)</sup>
	6119	20:43 – 22:48	2:05	41 <sup>1, 2)</sup>

«Може бути застосовано одну з пільг:

<sup>1)</sup> Вартість квитка знижується на 100% при наявності пенсійної пільги (інвалідність, постраждалих тощо);

<sup>2)</sup> Вартість квитка знижується на 50% при наявності студентської пільги» [2]

Як видно з таблиці 3.16, єдиним прийнятним варіантом є електропоїзд №6109, оскільки час очікування на два інші електропоїзди перевищує 11,5 годин.

Рекомендується придбати квиток до станції «Тщенець», оскільки саме там зручно пересідати на маршрутний автобус до пішохідного переходу «Шегині» – «Медика», що є підмножиною  $\{S\}$ . Параметри маршруту автобусом такі:

- довжина маршруту: 10 км;
- час в дорозі: 15 хвилин;
- інтервал руху: 30 хвилин;
- вартість проїзду: 25 грн.

Після цього залишається лише виконати піший перехід «Шегині» – «Медика» (рис. 3.18).

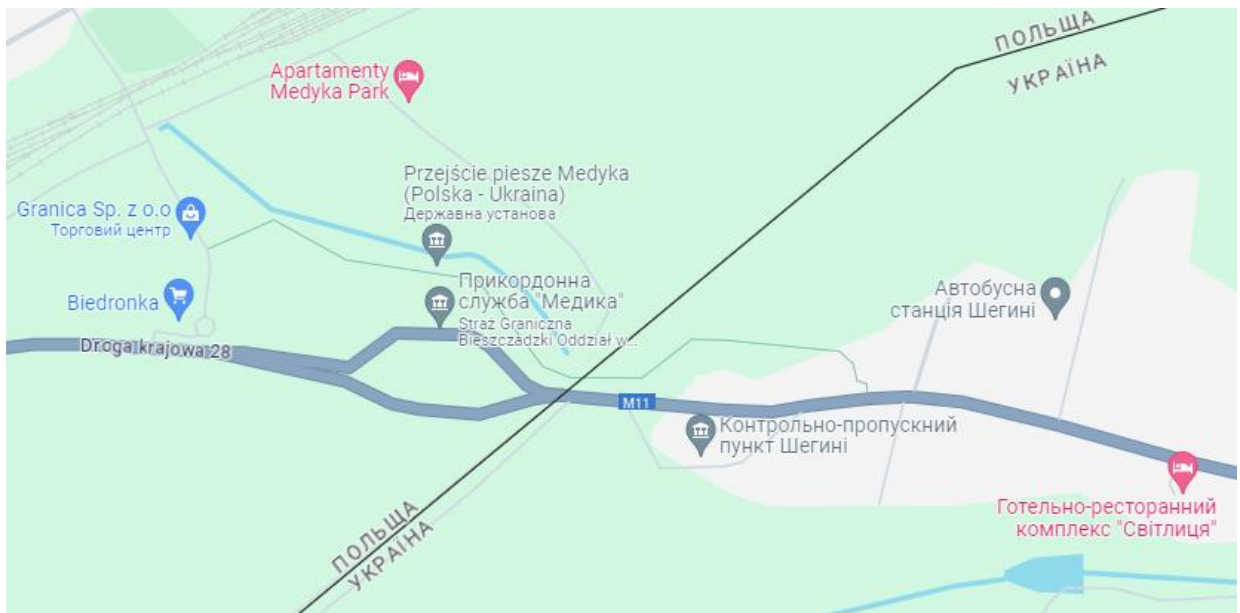


Рисунок 3.18 – Піший перехід «Шегині» – «Медика»

Згідно до статистики [10], подолання усього переходу з «Шегині» до «Медика» (підмножина  $\{M\}$ ), займає із часом очікування у черзі до 1,5 год. Виконаємо присвоєння підмножині  $\{M\}$  значення 1,5.

Після цього, на польському боці, біля точки, позначеної «Biedronka» (рис.), потрібно сісти на маршрутний автобус, який поїде до залізничного вокзалу «Перемишль – Головний» (Premyśl Główny) – підмножина  $\{G\}$ . Шлях цим автобусом має такі параметри:

- довжина: 12 км;
- час проїзду: 20 хв.;
- інтервал руху: 30 хв.;
- вартість проїзду: 5 zł  $\approx$  50 грн.

Отже, сформуємо наступну модель:

$$\{P\} \cup [\{L\} \wedge \{T\} \wedge \{S\} \wedge \{M\} \wedge \{G\}],$$

де множина  $\{P\}$ , об'єднає у собі 5 підмножин, що були розкриті вище за текстом.

Розрахуємо накопичені дані для підмножин  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$  та внесемо їх до таблиці 3.17. Сумарний час, витрачений на подорож, буде переведений у доби для нормалізації.

Далі побудуємо діаграму Гантта для представлення маршруту підмножинами  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$  (рис. 3.19). Час очікування пересадок буде представлений порожніми множинами  $\emptyset$ .

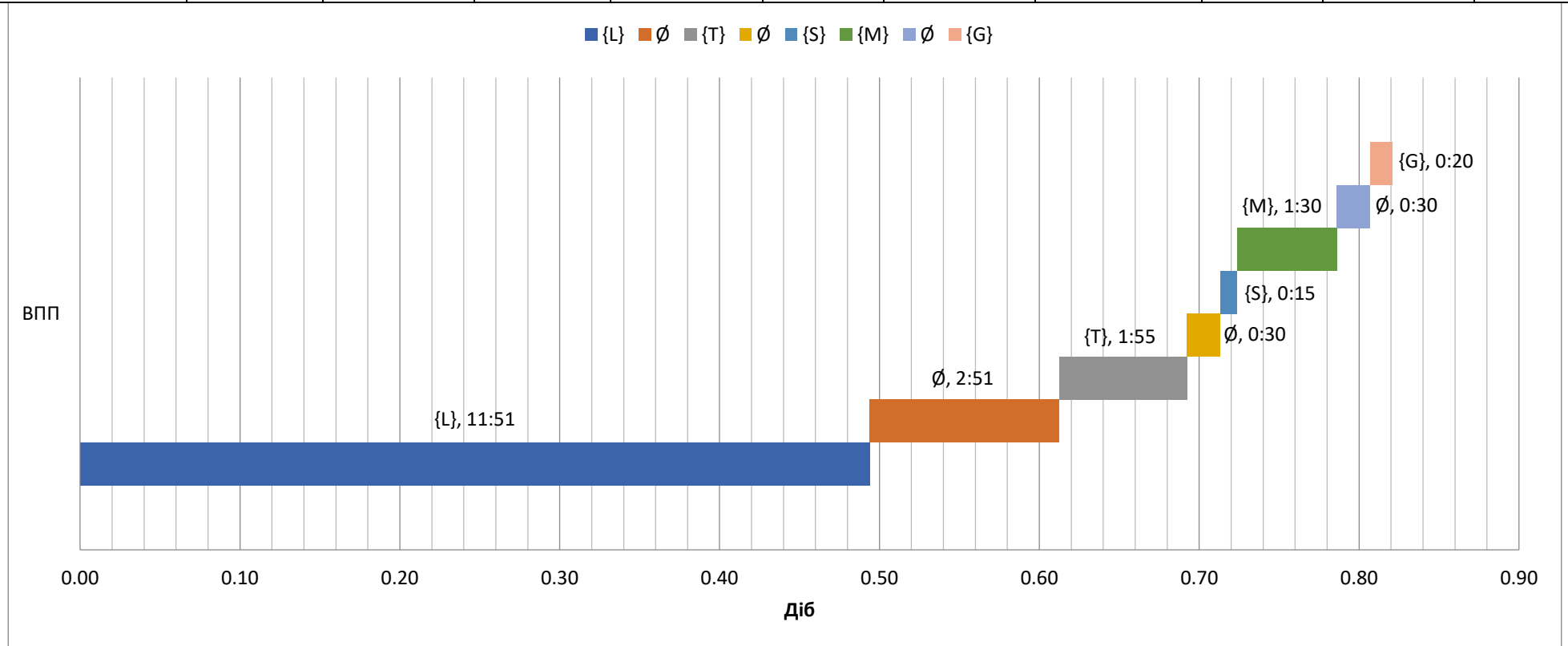
Спираючись на формулу (2.1) та опорні значення з таблиць 3.15 і 3.16, виконаємо розрахунок показника комфорту (ПК) для маршруту підмножинами  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$  (табл. 3.18).

Таблиця 3.18 – Розрахунок показника комфорту для маршруту підмножинами  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$

Критерій шляху	$\bar{k}$	$n=3 (\{L\} \wedge \{T\} \wedge \{M\})$	$pk$
найдешевший	$\frac{3 + 2 + 2}{3}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{2,5}{8}$	0,29

Таблиця 3.17 – Зібрані дані про маршрути та час очікування поїздів у вигляді множин  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$ 

ПС	№№ поїздів	Час до $\{L\}$ , год. : хв.	Очікування, год. : хв.	Час до $\{T\}$ , год. : хв.	Очікування, год. : хв.	Час до $\{S\}$ , год. : хв.	Час на $\{M\}$ , год. : хв.	Очікування, год. : хв.	Час до $\{G\}$ , год. : хв.	$\sum t, \text{дiб}$
$\{L\} \wedge \{T\} \wedge \{M\}$	136+6109	11:51	2:51	1:55	0:30	0:15	1:30	0:30	0:20	0,821

Рисунок 3.19 – Діаграма Гантта, для маршруту підмножинами  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$  (за віссю абсцис – час)

Як видно, показник комфорту (ПК) має дуже низьке значення, що практично унеможливлює використання цього маршруту людьми з поганим здоров'ям.

На основі отриманих даних побудуємо гістограми зведених витрат для підмножин:  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$  (рис. 3.20).

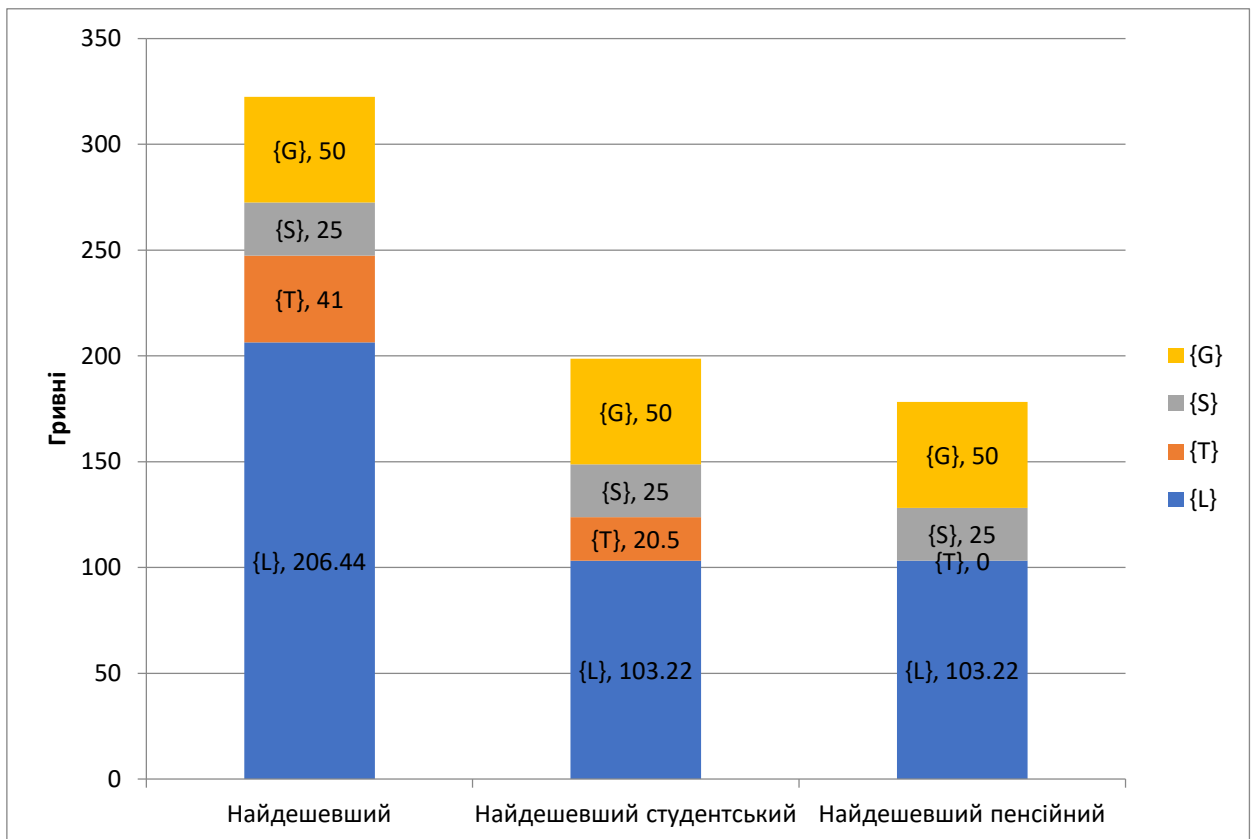


Рисунок 3.20 – Гістограма вартості для множин:  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$

Остаточна вартість подорожі ВПП, що складається з підмножин  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$ , наведена в таблиці 3.19. Для нормалізації сумарні витрати на подорож слід перевести в тисячі гривень.

Зазначимо, що найдешевший шлях коштує трохи більше 322 грн. Якщо ж цей шлях використовує студент або пенсіонер, то вартість проїзду зменшується до 178 грн.

Таблиця 3.19 – Вартість маршруту залізницею ВПП підмножинами  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$

Критерій оптимізації шляху та №№ поїздів	Вартість підмножиною, грн.				Накопичена сума, грн.	Нормалізовані витрати, тис. грн.
	$\{L\}$	$\{T\}$	$\{S\}$	$\{G\}$		
Найдешевший 136+6109	206,44	41	25	50	322,44	0,322
Найдешевший студентський	103,22	20,5	25	50	198,72	0,199
Найдешевший пенсійний	103,22	0	25	50	178,22	0,178

### 3.4 Прямий маршрут до Перемишля

Між Одесою та Перемишлем курсує прямий поїзд «Одеса-Головна» – «Перемишль-Головний». З першого погляду, здається, що найлогічнішим варіантом для маршруту множиною  $\{P\}$  є саме цей шлях. Однак для повноцінного аналізу розглянемо дані цієї множини.

Згідно з пошуком на [2], з Одеси до Перемишля (ПС  $\{P\}$ ) є один поїзд (рис. 3.21).

Подорожуй популярними напрямками  
 Київ ↔ Львів   Київ ↔ Пшемисьль   Київ ↔ Дніпро-Головний   Київ ↔ Хелм   Київ ↔ Харків

Звідки:    Куди:

Київ Львів Пшемисьль Дніпро-Головний Одеса   Київ Львів Пшемисьль Дніпро-Головний Одеса

Дата відправлення:    Час відправлення від:

Одоголні   Завтра   Післязавтра

**Пошук поїздів на 14.03.2024**

№ поїзда	Звідки / Куди	Дата	Відправлення / Прибуття	Тривалість	Вільних місць
<b>036 Ш</b> Маршрут	<b>Одеса-Головна</b> <b>Пшемисьль</b>	Відправлення: четвер, 14.03.2024 Прибуття: п'ятниця, 15.03.2024	<b>14:45</b> <b>05:53</b>	<b>16:08</b>	<b>К 120</b>

Показати без вільних місць

[Пошук маршрутів з пересадкою](#)

Рисунок 3.21 – Залізничне сполучення між «Одеса-Головна» – «Перемишль-Головний»

Об'єднаємо знайдені параметри у вигляді таблиці даних для дослідження (табл. 3.20).

Таблиця 3.20 – Дані для дослідження маршруту поїздом «Одеса-Головна» – «Перемишль-Головний»

ПС	№ поїзда	Відправлення-Прибуття <sup>1)</sup> (год : хв – год : хв)	Тривалість (год : хв)	Вартість, грн		
				Люкс	Купе	Плацкарт
Перемишль	036 Ш	14:45 – 05:53	16:08	–	2105,89	–

<sup>1)</sup> «Час прибуття вказується за польським часом.  
Пільги на міжнародне сполучення не діють» [2]

Як видно з таблиці 3.20, для маршруту фактично є тільки один поїзд з першим рівнем ПК та єдиною ціною. Тому немає потреби у побудові порівняльних гістограм або діаграм.

Нормалізований час подорожі поїздом «Одеса-Головна» – «Перемишль-Головний» становить 0,672 доби.

Спираючись на формулу (2.1) та опорні значення з таблиці 3.20, виконаємо розрахунок показника комфорту (ПК) для цього маршруту (табл. 3.21).

Таблиця 3.21 — Розрахунок показника комфорту для шляхів множиною {P}

Комбінація шляхів	$\bar{k}$	$n=0$	$pk$
поїзд «Одеса-Головна» – «Перемишль-Головний»	$\frac{4}{1}$	$\frac{\bar{k}}{2^n} = \frac{4}{1}$	4

Як видно, показник комфорту (ПК) є найвищим, що, власне, не є дивним, оскільки цей шлях є прямим. Для нормалізації ПК приймемо значення 2,5, оскільки це найбільше значення, яке ми отримали на підставі аналізу всіх можливих множин. Значення 4 могло б призвести до надмірного збільшення масштабу осей графіка.

Вартість проїзду становить 2106 грн, або нормалізоване значення 2,106 тис. грн., що відноситься до досить високого діапазону.

Також слід відзначити деякі особливості цього маршруту:

а) ситуація з покупкою квитків не сильно відрізняється від описаної в п. 3.1.2 ситуації з поїздом «Київ-Пасажирський» – «Варшава-Всходня». Тобто, ближче до дати відправлення практично неможливо купити квиток, хоча іноді можна потрапити на вільне місце;

б) вартість квитків надзвичайно висока і, порівнюючи з пп. 3.2.2.2, не сильно програє за ПК (табл. 3.13) – це означає, що за допомогою множини  $\{L\} + \{P\}$  можна дістатися до Перемишля за той самий час, а навіть швидше. Проте, вартість квитка на прямий поїзд «Одеса-Головна» — «Перемишль-Головний» в 3 рази перевищує вартість найдешевшого шляху (поїздами №038 + №705) через ПС у Львові.

#### 4 РОЗРАХУНОК ПЕЛЮСТКОВИХ ДІАГРАМ МАРШРУТІВ

«Пелюсткова діаграма (ПлД) – це графічний спосіб відображення багатовимірних даних у вигляді двовимірної діаграми з трьома або більшою кількістю змінних. Ці змінні представлені на осях, що мають спільний початок. Відносне положення та кут нахилу осей зазвичай не вказано. Можна зустріти такі назви ПлД: вебдіаграма, діаграма павука, карта зоряного неба, зоряна діаграма, графік-павутина, неправильний багатокутник та полярна діаграма» [12].

При використанні ПлД (пелюсткової діаграми) важливо забезпечити правильне підписання кожного сектору та чітку інтерпретацію кольорової палітри. Крім того, необхідно уникати перевантаження діаграми занадто великою кількістю секторів, оскільки це може ускладнити її сприйняття.

Для побудови ПлД для шляху між станціями «Одеса» – «Варшава» потрібно чітко визначити критерії, за якими буде здійснюватися побудова. Як зазначалося раніше, порівняння стає важким при надмірній кількості секторів ПлД. Тому виберемо з кожної множини по одному шляху, який найкраще відображає критерій, за яким проводиться аналіз.

Такими критеріями оптимізації стануть:

- а) мінімізація часу;
- б) мінімізація витрат;
- в) максимальний рівень комфорту.

Для деяких множин критерій мінімізації часу (а) співпадатиме з критерієм максимального комфорту (в), проте в окремих випадках критерій комфорту буде самостійним.

Також для побудови ПлД необхідно нормалізувати значення ціни квитків і часу подорожі. Це важливо, оскільки побудова ПлД повинна здійснюватися в одному масштабі величин [13]. В такому випадку нормалізовані величини матимуть одиниці виміру у тисячах гривень для ціни квитків та в добах для сумарного часу подорожі.

Таким чином, при проведенні аналізу даних за розділом 3 сформуємо таблицю необхідних даних для побудови ПлД (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Аналітичні дані для маршрутів, відібраних за критеріями мінімізації часу, витрат та максимізації ПК

Множина	№ поїздів	Критерій за яким обрано шлях	Час, діб	Вартість, тис. грн.	ПК
$\{K\} + \{C\}$	148+019	вартість $\rightarrow$ min	1,508	2,146	0,875
$\{K\} + \{C\}$	106+019	час $\rightarrow$ min	1,351	2,592	1
$\{L\} + \{R\} + \{W\}$	038 $\vee$ 136+867+767	вартість $\rightarrow$ min	1,108	1,452	0,58
$\{L\} + \{R\} + \{W\}$	012+867+767	час $\rightarrow$ min	0,899	2,226	0,83
$\{L\} + \{P\}$	038+705	(час $\vee$ вартість) $\rightarrow$ min	0,611	0,706	1,25
$\{L\} + \{P\}$	012+089	ПК $\rightarrow$ max	0,688	2,647	2,25
$\{L\} + \{T\} + \{S\}$ $+ \{M\} + \{G\}$	136+6109	вартість $\rightarrow$ min	0,821	0,322	0,29
$\{P\}$	036	час $\rightarrow$ min; ПК $\rightarrow$ max	0,672	2,106	2,5

На основі даних з таблиці 4.1 побудуємо ПлД для трьох критеріїв оптимізації за 8 множинами шляхів (8-кутники) (рис. 4.1).

Ці 8-кутники являють собою представлення часу, вартості та показника комфорту (ПК) для 8 множин, наведених у таблиці 4.1. Аналізуючи ПлД, ми можемо наочно побачити значення кожного з критеріїв оптимізації, що нас цікавить.

Наприклад: мінімальне значення часу подорожі відповідає множині  $\{L\} + \{P\}$  і становить 0,611 доби; мінімальне значення вартості відповідає множині  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$  і становить 322 грн. Проте для цієї множини ПК має найменше значення – 0,29, а його максимальне значення відповідає множині  $\{P\}$  (рис. 4.1).

Далі, на основі даних з таблиці 4.1, побудуємо ПлД для представлення 8 функцій (множин шляху) за трьома критеріями оптимізації (рис. 4.2).

Тут ми бачимо вісім трикутників, які представляють кожен з 8 множин шляхів з таблиці за трьома критеріями оптимізації: часом, вартістю та ПК. Аналізуючи ПЛД, ми також можемо наочно побачити конкретне значення для будь-якої множини шляху за критеріями оптимізації, що нас цікавить.

Розглянемо приклад (рис. 4.2). Множина  $\{L\} + \{T\} + \{S\} + \{M\} + \{G\}$  має такі значення: для часу подорожі – 0,821 доби, для вартості – 322 грн, для ПК – 0,29. Множина  $\{L\} + \{P\}$ , яка реалізована поїздами №038 + №705, має такі значення: для часу подорожі – 0,611 доби, для вартості – 706 грн, для ПК – 1,25 тощо.

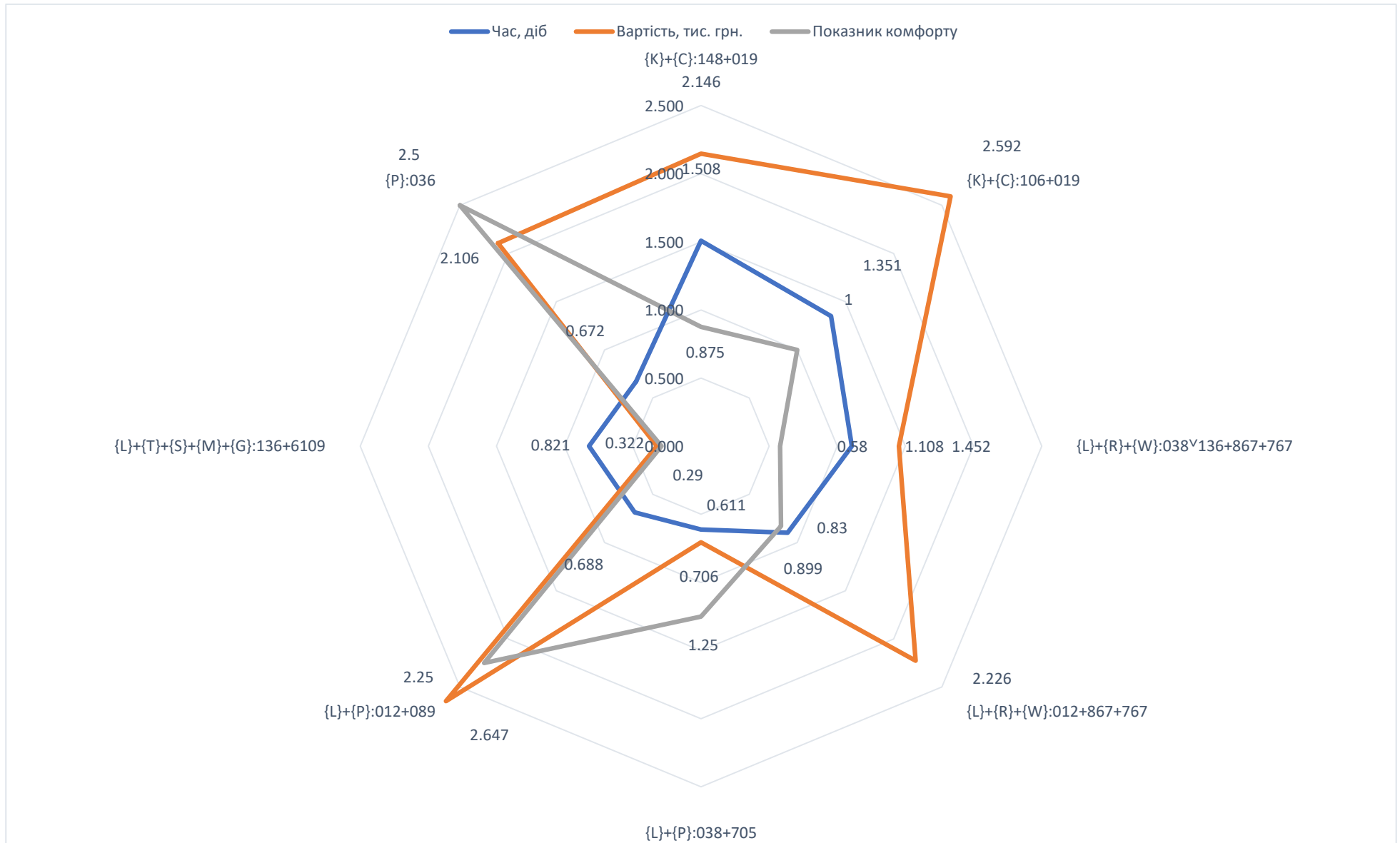


Рисунок 4.1 – Пелюсткова діаграма для трьох критеріїв оптимізації за восьми множинами шляху

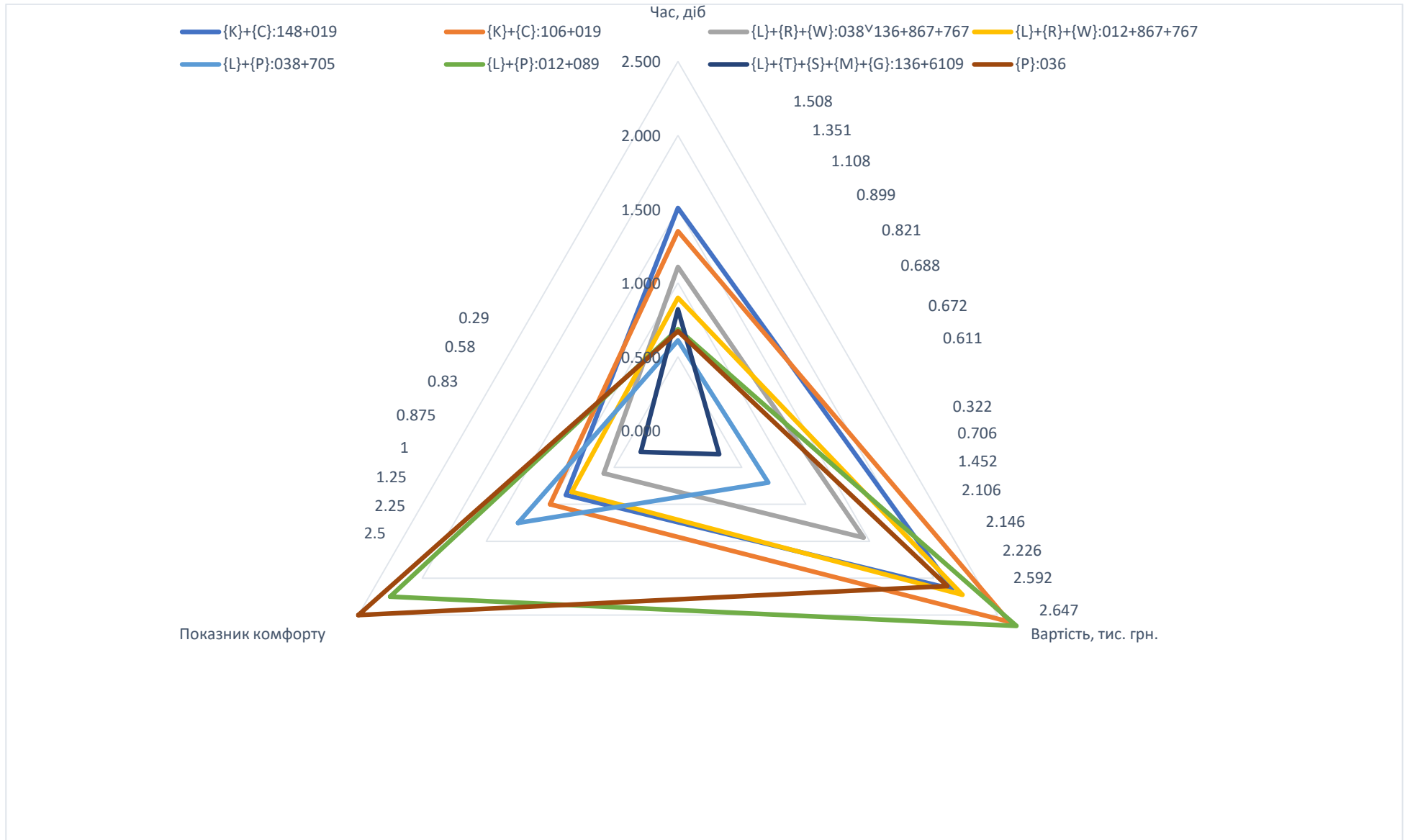


Рисунок 4.2 – Пелюсткова діаграма для восьми множин шляху за трьома критеріями оптимізації

## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто мету роботи, а саме: визначено оптимальний шлях пересування пасажирів між станцією «Одеса-Головна» та залізничними станціями Польщі на основі критеріїв вартості, часу та зручності.

Об'єктом роботи став процес організації пересування пасажирів залізничним транспортом між Україною та Польщею.

Предметом роботи стали моделювання та багатокритеріальна оптимізація маршрутів транспортування пасажирів відповідно до визначених параметрів.

Актуальність теми обумовлена тим, що міграція до Варшави та інших міст Польщі є складним випробуванням для біженців з України через численні невизначеності, які виникають у процесі переміщення. Проте для багатьох українців це є важливим кроком для забезпечення безпеки та створення кращих перспектив для їхніх родин у найближчому майбутньому. Подолання цих труднощів і розробка оптимальних маршрутів на основі конкретних критеріїв є ключовим завданням цієї дипломної роботи.

Для досягнення поставленої мети були виконані такі завдання:

- визначено основні напрямки переміщення біженців з України;
- досліджено способи подорожі між Одесою та містами Польщі, а саме:
  - а) автомобільний маршрут;
  - б) автобусний маршрут;
  - в) залізничний маршрут;
- обґрунтовано вибір транспортних рішень;
- розроблено моделі переміщення залізницею за такими маршрутами:
  - а) {Одеса – Київ};
  - б) {Київ – Хелм};
  - в) {Одеса – Львів};

- г) {Львів – Рава-Руська};
- д) {Рава-Руська – Варшава};
- е) {Львів – Перемишль};
- ж) {Львів – Медика};
- и) {Одеса – Перемишль};

– уперше запроваджено показники, які дають змогу аналізувати дані транспортних маршрутів, зокрема:

- а) використання проміжної станції як умовного переходу;
- б) розрахунок показника комфорту;
- в) визначення показника доступності;

– на основі проведеного аналізу побудовано діаграми, які всебічно ілюструють вибір оптимального маршруту в межах досліджених множин, зокрема:

- а) гістограми накопичення вартості та часу подорожі;
- б) діаграми Ганта для маршрутів;
- в) пелюсткові діаграми за критеріями оптимізації та множинами маршрутів;

– розроблено та представлено механізми вибору маршруту відповідно до визначених критеріїв:

- а) часу;
- б) вартості;
- в) рівня комфорту.

Особливо варто зазначити, що тема кваліфікаційної роботи була виконана на замовлення громадської організації «Одеське імені Адама Міцкевича відділення Спілки поляків в Україні».

Таким чином, результати дослідження стануть корисними при виборі швидкого, економічного або комфортного маршруту з Одеси до Польщі для осіб, які змушені переміщуватися через бойові дії або відвідувати своїх родичів чи знайомих, переміщених унаслідок військової агресії російської федерації проти України.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. INFOBUS. Ресурс пошуку квитків. URL: [https://infobus.eu/ua/530/3996/tomorrow/6?partner=1763&marker\\_id=225037&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=cid\\_19009671356&utm\\_target=&utm\\_group=gid\\_&utm\\_content=aid\\_&placement=&gad\\_source=1&gclid=EAIaIQobChMIxp-uzJjagwMViIZoCR0h4gnbEAAAYASAAEgKtLvD\\_BwE](https://infobus.eu/ua/530/3996/tomorrow/6?partner=1763&marker_id=225037&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=cid_19009671356&utm_target=&utm_group=gid_&utm_content=aid_&placement=&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIxp-uzJjagwMViIZoCR0h4gnbEAAAYASAAEgKtLvD_BwE) (дата звернення: 02.05.2024 р.).
2. Офіційний інтернет-портал «Укрзалізниця». URL: <https://booking.uz.gov.ua/> (дата звернення: 06.05.2024 р.).
3. «УМІТИ»: база термінів. Інформатика. URL: <https://umity.in.ua/concept/?id=1335> (дата звернення: 09.10.2024 р.).
4. Програмуємо на C++, C#, JAVA... URL: <https://programer.in.ua/index.php/prohramuvannia/prohramuvannia-v-delphi/55-tema-komanda-vyboru> (дата звернення: 12.10.2024 р.).
5. Сучасна інформатика (сила практики в теорії). Автор блогу: Краснов О. В. URL: [https://alextexnok.blogspot.com/p/blog-page\\_35.html](https://alextexnok.blogspot.com/p/blog-page_35.html) (дата звернення: 14.10.2024 р.).
6. Що таке «хороший стиль програмування»? URL: <http://nikolay.in.ua/navchaemos/visual-basic/osnovni-ponyattya/35-shcho-take-khoroshij-stil-programuvannya> (дата звернення: 14.10.2024 р.).
7. Коли варто використовувати нормалізацію та денормалізацію даних? URL: <https://itomychstudio.com/ua/blog/data-normalization-and-denormalization-when-each-should-be-used> (дата звернення: 18.10.2024 р.).
8. Що таке діаграма Ганта та як нею правильно користуватися? URL: <https://nachasi.com/creative/2020/09/03/gantt-chart/> (дата звернення: 27.10.2024 р.).

9. WikipediA. Gantt chart. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gantt\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Gantt_chart) (дата звернення: 27.10.2024 р.).
10. NOVOSTI.PL: Новини перетину кордону із Польщею. URL: <https://novosti.sprosi.eu/uk/veb-kameri-kordon-ukrayina-polshha-cherga-pered-punktom-propusku-z-boku-ukrayini/veb-kamera-shegini-medika-cherga-pered-punktom-propusku-shegini-medika-z-boku-ukrayini/> (дата звернення: 28.10.2024 р.).
11. Розумний розклад. URL: <https://poizdato.net/rozklad-poizdiv/lviv--mostyska-2/> (дата звернення: 29.10.2024 р.).
12. WikipediA. Radar Chart. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radar\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Radar_chart) (дата звернення: 30.10.2024 р.).
13. Нормалізований запис дійсних чисел. Подання чисел з плаваючою комою. URL: <https://vseosvita.ua/library/konspekt-uroku-na-temu-normalizovanyi-zapys-diisnykh-chysel-podannia-chysel-z-plavaiuchoiu-komoiutest-682382.html> (дата звернення: 31.10.2024 р.).

**ДОДАТОК А****Копії тез доповіді XXIII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МАТЕРІАЛИ  
XXIII НАУКОВОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

**Одеського державного  
екологічного університету**

**22 – 26 квітня 2024 р.**

**ОДЕСА  
2024**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



**МАТЕРІАЛИ  
XXIII НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ  
Одеського державного екологічного університету  
(22-26 квітня 2024 р.)**

**ОДЕСА  
Одеський державний екологічний університет  
2024**

**УДК 378.14**

**М34**

**М34** Матеріали ХХІІІ наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету – 2024, 22 – 26 квітня. Одеса: ОДЕКУ. 2024. 290 с.

ISBN 978-966-186-293-6

В збірнику представлені матеріали ХХІІІ наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, які висвітлюють основні напрями наукових досліджень. Матеріали підготовлені магістрами, аспірантами, здобувачами, співробітниками Одеського державного екологічного університету.

The proceedings of the 23st Scientific Conference for OSENU Young Scientists covering the main directions of the research are given in the collection. The proceedings are prepared by master and post-graduate students, applicants for a PhD degree and employees of Odessa State Environmental University.

ISBN 978-966-186-293-6

© Одеський державний  
екологічний університет,  
2024

## ЗМІСТ

<b>Секція «АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ІНФОРМАТИКИ»</b>	<b>23</b>
<b>Герченко О. О., маг. гр. МІС-23</b> Науковий керівник: Великодний С. С., докт. техн. наук, доц. <b>МОДЕЛІ РЕІНЖИНІРИНГУ ВІДКРИТОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ПЕРЕКЛАДУ ВИХІДНОГО КОДУ МОВОЮ С#</b>	<b>23</b>
<b>Мироненко Ю. Д., маг. гр. МІС-23</b> Науковий керівник: Великодний С. С., докт. техн. наук, доц. <b>МОДЕЛЮВАННЯ ТА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ СПОСОБІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПАСАЖИРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ МІЖ СТАНЦІЄЮ "ОДЕСА-ГОЛОВНА" ТА СТАНЦІЯМИ ПОЛЬЩІ</b>	<b>25</b>
<b>Коваленко В.С, маг. гр. МІС-23</b> Науковий керівник: Перелигін Б.В., канд. техн. наук, доц. <b>ІНТЕРФЕЙС ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМУВАННЯ</b>	<b>27</b>
<b>Іванова А.О., маг. гр. МІС-23</b> Науковий керівник: Гнатовська Г.А., канд. техн. наук, доц. <b>АНАЛІЗ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ВИЗНАЧЕННІ ТА ОБРОБЦІ ЕМОЦІЙ НА ОБЛИЧЧІ ЛЮДИНИ</b>	<b>29</b>
<b>Буряк Д.Д., аспірант II р. н.</b> Науковий керівник: Ковальчук В. В., докт. фіз.-мат. наук., проф. <b>НОСІЇ ІНФОРМАЦІЇ НОВОГО ПОКОЛІННЯ: теоретична розробка</b>	<b>31</b>
<b>Устенко А.С., аспірант III р. н.</b> Науковий керівник: Мещеряков В.І., докт. техн. наук, проф. <b>ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ОХОЛОДЖУВАЧІВ В РЕЖИМІ МІНІМУМУ РОБОЧОГО СТРУМУ</b>	<b>33</b>
<b>Секція «ВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ»</b>	<b>35</b>
<b>Андріюк М.О., гр. МВМ-23</b> Науковий керівник: к.ф-м.н. Мансарлійський В.Ф. <b>АДАПТАЦІЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУ КІЛЬКОСТІ ВНУТРІШНЬОМАСОВОЇ КОНВЕКТИВНОЇ ХМАРНОСТІ ДЛЯ СТАНЦІЇ ОДЕСА</b>	<b>35</b>

**Мироненко Ю. Д., маг. гр. МІС-23**

Науковий керівник: Великодний С. С., докт. техн. наук, доц.

*Кафедра автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища та інформатики*

*Одеський державний екологічний університет*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ СПОСОБІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПАСАЖИРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ МІЖ СТАНЦІЄЮ "ОДЕСА-ГОЛОВНА" ТА СТАНЦІЯМИ ПОЛЬЩІ**

Починаючи з 2022 р., коли розпочалася повномасштабна війна в Україні через вторгнення російської федерації, мільйони українців були вимушені залишити свої домівки через загострення бойових дій, порушення прав людини та загрозу власній безпеці. Багато з них шукали притулку в інших регіонах України, але деякі також намагалися знайти новий дім за кордоном.

Однією з основних країн, куди українці зверталися для отримання притулку, була Польща. Польща приймала значну кількість українців через своє географічне розташування та наявність програм для біженців. Спільно з іншими країнами, такими як Словаччина, Угорщина, Румунія та інші, Польща допомагала українським переселенцям знаходити тимчасовий та постійний притулок.

Українці могли виїхати до Польщі за різними типами віз та статусами, такими як працевлаштування, навчання або тимчасовий статус біженця. Польща активно взяла участь у прийнятті біженців з України та надала допомогу їм у знаходженні житла, навчанні та інших аспектах інтеграції. Варшава, як столиця Польщі, стала одним із ключових пунктів прийому українських переселенців. Польща є членом Європейського союзу та Шенгенської зони, що спрощує процес переміщення для громадян України. Міграція до Варшави та до інших міст Польщі стала важким випробуванням через велику кількість прибульців та жорстку конкуренцію на ринку праці. Однак для багатьох українців це було необхідним кроком для забезпечення безпеки та перспектив недалекого майбутнього для їхніх сімей, тому тема роботи, яка спрямована на оптимізацію шляху від Одеси до Варшави є актуальною.

*Метою роботи* є визначення оптимального шляху переміщення між містами Одеса та Варшава за критеріями вартості, часу та зручності.

*Об'єктом роботи* є процес пересування пасажирів множиною транспортного сполучення між Одесою та Варшавою.

*Предметом роботи* є моделювання та оптимізація способів переміщення пасажирів за визначеними критеріями.

Для вирішення встановленої мети роботи, необхідно буде виконати наступні задачі:

- визначити напрямки переміщення біженців з України;
- дослідити способи переміщення між Одесою та Варшавою [1];
- обґрунтувати прийняття транспортних рішень [2];
- розробити моделі переміщення поїздом.

У науковій роботі вперше вводяться показники [3] за допомогою яких стає можливим виконання аналізу даних множин транспортного сполучення, а саме:

- а) підключення проміжної станції у якості умовного переходу;
- б) розрахунок показника комфорту;
- в) оголошення показника доступності.

На підставі проведеного аналізу даних, будуються діаграми даних, що всебічно відображають обрання оптимального рішення в межах досліджених множин шляхів, а саме:

- а) гістограми накопичення вартості та тривалості проїзду;
- б) діаграми Ганта для проїзду множинами;
- в) пелюсткові діаграми за критеріями оптимізації та за множинами шляху.

Розраховано та представлено механізми обрання варіантів шляху за визначеними критеріями: часу, вартості та рівня комфортності. Слід наголосити, що тематика наукової роботи виконувалась на замовлення громадської організації «Одеське ім. Адама Міцкевича відділення Спілки поляків в Україні».

Таким чином, результати роботи стануть у нагоді при обранні швидкого або дешевого, або комфортного шляху до з Одеси до Польщі для громадян, які вимушені переміщуватися з метою втечі від бойових дій або відвідування переміщених родичів чи знайомих, у зв'язку із військовою агресією російської федерації проти України.

#### **Список використаної літератури**

1. Velykodniy S., Burlachenko Zh., Zaitseva-Velykodna S. Modelling the behavioural component of the emergent parallel processes of working with graph databases using Petri net-tools. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*. (Scopus) 2021. Vol. 36. Iss. 6. P. 498-515. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445760.2021.1934836>. Taylor & Francis Group, England & Wales. London.

2. Velykodniy S. S. Analysis and synthesis of the results of complex experimental research on reengineering of open CAD systems. *Applied Aspects of Information Technology*. 2019. Vol. 2. No 3. P. 186–205. DOI: 10.15276/aait.03.2019.2.

3. Великодний С. С., Тимофєєва О. С., Зайцева-Великодна С. С. Метод розрахунку показників оцінки проекту при виконанні реінжинірингу програмних систем. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. (Web of Science) 2018. №4. С. 135–142. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-4-13.

Наукове електронне видання

**МАТЕРІАЛИ**

**XXIII НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

**Одеського державного екологічного університету**

**(22-26 квітня 2024 р.)**

**Видавець і виготовлювач**

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: [info@odeku.edu.ua](mailto:info@odeku.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК No 5242 від 08.11.2016