

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Факультет транспортних систем

Кафедра транспортних систем і логістики

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
магістра

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ ОБ'ЄКТІВ  
МАСОВОГО ВІДВІДУВАННЯ У МІСТІ ЛУЦЬК**

Завідувач кафедри  
канд. техн. наук, доцент



Євген ЛЮБИЙ

Нормоконтролер  
канд. техн. наук, доцент



Олександр КОЛІЙ

Керівник канд. техн. наук, доцент



Станіслав СВІЧИНСЬКИЙ

Студентка гр. ТС-62-23



Катерина СОРОКІНА

Ректору ХНАДУ  
проф. Віктору БОГОМОЛОВУ

Кафедра транспортних систем і логістики ХНАДУ просить Вас доручити виконання дипломної роботи магістра на тему «Дослідження транспортної доступності об'єктів масового відвідування у місті Луцьк» студентці групи ТС-62-23 Сорокіній К.Є.

При виконанні роботи увагу варто приділити таким питанням, як:

- аналіз поняття транспортної доступності міських територій;
- аналіз поточного стану маршрутної мережі громадського транспорту м. Луцьк;
- розробка транспортної моделі м. Луцьк;
- оцінка транспортної доступності об'єктів масового відвідування у м. Луцьк.

Завідувач кафедри транспортних  
систем і логістики к.т.н, доц.



Євген ЛЮБИЙ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ**

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет \_\_\_\_\_ транспортних систем \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ транспортних систем і логістики \_\_\_\_\_  
Освітній рівень \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_  
Спеціальність, спеціалізація 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»  
(шифр і назва)  
Освітньо-професійна програма Транспортні системи і логістика  
(шифр і назва)

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

**Завідувач кафедри**

Євген ЛЮБИЙ  
«29» вересня 2024 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ**

**Сорокіній Катерині Євгеніївні**

1. Тема роботи Дослідження транспортної доступності об'єктів масового відвідування у місті Луцьк

Керівник роботи Свічинський Станіслав Валерійович, к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені рішенням Вченої ради ФТС від «28» серпня 2024 року № 1.

2. Строк подання студентом роботи 06.12.2024 р.

3. Вхідні дані до роботи літературні та інтернет-джерела, державна статистика

4. Перелік питань, які потрібно розробити Вступ. 1. Аналіз поточного стану функціонування міського громадського транспорту. 2. Формування методики розробки транспортної моделі міста Луцьк та оцінки транспортної доступності місць тяжіння на міській території. 3. Розробка транспортної моделі міста Луцьк. 4. Оцінка транспортної доступності найбільших місць тяжіння на території міста Луцьк. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Графічний матеріал представляється у вигляді презентації

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 05.09.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ	06.09 – 13.09.2024 р.	виконано
2.	Аналіз поточного стану функціонування міського громадського транспорту	13.09 – 27.09.2024 р.	виконано
3.	Формування методики розробки транспортної моделі міста Луцьк та оцінки транспортної доступності місць тяжіння на міській території	27.09 – 18.10.2024 р.	виконано
4.	Розробка транспортної моделі міста Луцьк	18.10 – 01.11.2024 р.	виконано
5.	Оцінка транспортної доступності найбільших місць тяжіння на території міста Луцьк	01.11 – 18.11.2024 р.	виконано
6.	Висновки	18.11 – 25.11.2024 р.	виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки	25.11 – 29.11.2024 р.	виконано
8.	Оформлення матеріалів презентації	29.11 – 06.12.2025 р.	виконано

Студентка


  
(підпис)

Сорокіна К.Є.
  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


  
(підпис)

Свічинський С.В.
  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 89 с., 24 рис., 7 табл., 1 додаток, 26 джерел.

ГРОМАДСЬКИЙ ТРАНСПОРТ, ІЗОХРОНИ, МАРШРУТНА МЕРЕЖА, ТРАНСПОРТНА ДОСТУПНІСТЬ, ТРАНСПОРТНИЙ ПОПИТ, ЧАС ПЕРЕСУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – процес пересування пасажирів громадським транспортом.

Мета роботи – оцінка транспортної доступності об'єктів масового відвідування у місті Луцьк при пересуваннях громадським транспортом.

Метод дослідження – аналітичний, математичне моделювання.

У дипломній роботі ретельно розглянуте питання транспортної доступності міських територій при виконанні пересувань громадським транспортом.

З використанням транспортної моделі м. Луцьк, розробленої у програмі PTV Visum, надана оцінка дальності пересувань громадським транспортом до найбільших об'єктів тяжіння на міській території, зокрема через побудову ізохрон. Це дозволило охарактеризувати витратну частину пересувань мешканців різних районів міста до розглянутих об'єктів. Отримані оцінки можуть стати основою для визначення напрямків розвитку громадського транспорту, а також розробки заходів щодо покращення сполучення між різними районами міста.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – отримана оцінка транспортної доступності різних районів м. Луцьк може бути використана у діяльності міської влади при формуванні планів та програм розвитку громадського транспорту.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз поточного стану функціонування міського громадського транспорту .....	8
1.1 Види доступності міського громадського транспорту.....	8
1.2 Існуюче програмне забезпечення для моделювання роботи міських транспортних систем .....	15
1.3 Аналіз мережі маршрутів громадського транспорту міста Луцьк.....	23
1.4 Висновки по розділу .....	29
2 Формування методики розробки транспортної моделі міста Луцьк та оцінки транспортної доступності місць тяжіння на міській території .....	31
2.1 Методика розробки транспортної моделі громадського транспорту міста Луцьк .....	31
2.2 Методика оцінки транспортної доступності об'єктів масового відвідування у місті.....	33
2.3 Висновки по розділу .....	35
3 Розробка транспортної моделі міста Луцьк.....	36
3.1 Розробка моделі пропозиції громадського транспорту міста.....	36
3.2 Розробка моделі попиту на пересування міським громадським транспортом.....	47
3.3 Висновки по розділу .....	54
4 Оцінка транспортної доступності найбільших місць тяжіння на території міста Луцьк.....	55
4.1 Оцінка транспортної доступності центральної частини міста .....	55
4.2 Оцінка транспортної доступності інших об'єктів масового відвідування у місті .....	60
4.3 Висновки по четвертому розділу.....	65
Висновки .....	66
Перелік посилань.....	69
Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи.....	72

## ВСТУП

Доступність є одним з ключових параметрів, за яким оцінюється робота міської транспортної системи (ТС), оскільки вона є прямим відбиттям реалізації потреб населення у мобільності. Мобільність виникає внаслідок щоденної діяльності людей і тому через її рівень можна оцінити ступінь ефективності інвестицій в транспортну інфраструктуру та відповідної транспортної політики. Добре розвинені та ефективні ТС міст забезпечують високий рівень доступності територій, тоді як менш розвинені мають нижчий рівень доступності. Таким чином, доступність пов'язана з широким спектром економічних і соціальних можливостей.

Доступність певного місця – це міра його спроможності бути доступним з різних місць або бути досягнутим з різних місць. Тому пропускна спроможність і розташування транспортної інфраструктури є ключовими елементами у визначенні доступності.

Всі місця на міській території не є рівними, оскільки деякі з них є більш доступними, ніж інші, що означає нерівність у доступі до тих чи інших об'єктів міської інфраструктури. Таким чином, доступність є показником просторової нерівності і залишається фундаментальним, оскільки лише невелика частина міської території є найбільш доступною.

У даній дипломній роботі (ДР) будуть розглянуті питання транспортної доступності об'єктів міста Луцьк при поїздках до них громадським транспортом (ГТ), зокрема центральної частини міста та інших місць масового відвідування. Це дозволить користуватися параметром транспортної доступності при аналізі ефективності функціонування ГТ.

З огляду на це, були сформовані мета, об'єкт, предмет та задачі ДР.

Метою роботи є оцінка транспортної доступності об'єктів масового відвідування у місті Луцьк при пересуваннях громадським транспортом.

Об'єктом є процес пересувань пасажирів громадським транспортом, а предметом – характеристики дальності пересувань пасажирів до об'єктів масового відвідування.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити нижчеперелічені задачі ДР:

- аналіз видів доступності ГТ та поточного стану мережі маршрутів у м. Луцьк;
- формування методики розробки транспортної моделі ГТ м. Луцьк та оцінки транспортної доступності територій;
- розробка транспортної моделі м. Луцьк;
- оцінка транспортної доступності найбільших місць тяжіння у м. Луцьк при пересуваннях до них міським ГТ.

Для вирішення перелічених задач у першому розділі роботи зроблений огляд точок зору на доступність ГТ та інструментів оцінки доступності, зокрема з використанням транспортних моделей. Окрім цього, зроблений аналіз поточної мережі маршрутів ГТ міста Луцьк.

Другий розділ присвячений формуванню методики розробки транспортної моделі м. Луцьк і методики оцінки транспортної доступності різних об'єктів на міській території.

У третьому розділі сформована транспортна модель ГТ міста Луцьк.

У четвертому розділі надана оцінки транспортної доступності найбільш відвідуваних у м. Луцьк об'єктів (районів).

# 1 АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

## 1.1 Види доступності міського громадського транспорту

Сучасна спеціалізована література вказує на існування п'ятьох видів доступності ГТ, рис. 1.1:

- фінансова доступність;
- доступність обслуговування на маршрутах ГТ;
- доступність для різних категорій пасажирів;
- прийнятність транспорту;
- транспортна доступність територій.

Всі ці види доступності повинні бути враховані при застосуванні комплексного з точки зору користувача підходу до вдосконалення ГТ [1].

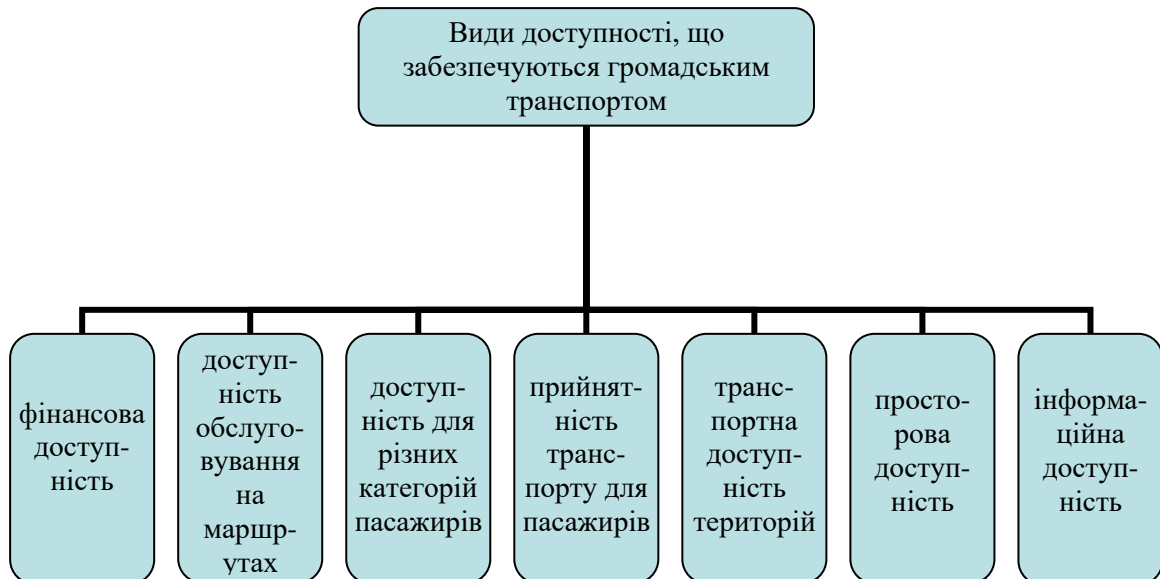


Рисунок 1.1 – Види доступності при користуванні громадським транспортом

Фінансова доступність дає оцінку того наскільки грошові витрати на пересування:

- ставлять людину або домогосподарство у стан необхідності йти на жертви задля здійснення транспортних пересувань;
- визначають міру, у якій людина або домогосподарство можуть собі дозволити пересуватися, коли хочуть.

Хоча домогосподарства (сім'ї, що проживають в одному помешканні) з низьким рівнем доходу можуть дозволити собі необхідні поїздки на роботу задля забезпечення доходу сім'ї, у той же час вони можуть не мати змоги дозволити собі, наприклад, поїздки до школи для своїх дітей-підлітків або для того, щоб діти регулярно відвідували своїх літніх родичів у лікарні. Для такої родини міський транспорт за більшістю стандартів вважатиметься недоступним. Таким чином, фінансову доступність ГТ доступність можна розглядати як здатність здійснювати необхідні поїздки на роботу, навчання, в заклади охорони здоров'я та місця надання інших соціальних послуг, а також відвідувати інших членів родини або терміново виконувати поїздки з іншою метою без необхідності обмежувати інші види діяльності [1].

Доступність обслуговування на маршрутах ГТ використовується для опису можливостей дістатися з їх допомогою до певного місця і відбиття часу пересування та інтервалу руху транспортних засобів (ТЗ). Незалежно від цілей поїздки людини – будь то освіта, робота, відпочинок чи особисті справи – її діяльність залежить від траси маршруту та часу, необхідного для поїздки. Навіть якщо зупинка ГТ розташована на нормативній відстані від місця проживання людини, наприклад на відстані до 400 м, що є найбільш бажаним показником просторової доступності ГТ, рівень користування цією зупинкою для будь-якої людини повністю визначатиметься тим, куди вона хоче поїхати, з якою частотою відправляються ТЗ із зупинки і як довго триватиме вся поїздка. Більше того, автобусна зупинка, що знаходиться за 400 метрів від дому і не обладнана павільйоном, або до якої можна дістатися лише перетнувши велику транспортну магістраль, може бути мало корисною, наприклад, людям із слабким серцем або колінами, важкими покупками або маленьким дітям.

Режим роботи та інтервал руху також є показниками доступності,

оскільки за відсутності транспортного обслуговування у час, коли людина хоче здійснити поїздку, складно говорити про доступний ГТ [1].

Доступність для різних категорій пасажирів описує легкість, з якою ці категорії можуть користуватися ГТ. Наприклад, окремим категоріям пасажирів важко самотійно або без допомоги здійснити посадку у ТЗ ГТ з високою підлогою і ступенями. До таких категорій можна віднести:

- маломобільних людей;
- людей, які переносять багаж;
- людей, які переносять покупки;
- батьків з маленькими дітьми;
- батьків з дитячими візочками;
- людей з обмеженими можливостями.

Громадські слухання вказують на гостру необхідність адаптації вулиць до пересування інвалідів та людей з дитячими візочками.

Окремим показником доступності послуг міського ГТ є можливість користування для пересувань маршрутами, на яких в повному обсязі можуть бути реалізовані пільги на проїзд, що надаються державою або місцевими органами самоврядування для малозабезпеченої частки мешканців міста.

Пільги у галузі громадського транспорту являють собою можливість безкоштовного проїзду або його часткової оплати для відповідних категорій громадян. Відповідно до чинного законодавства [2-13] наступні категорії громадян мають право на пільговий проїзд:

а) ветерани війни:

- 1) учасники бойових дій (УБД) та прирівняні до них;
- 2) особи з інвалідністю внаслідок війни та прирівняні до них;
- 3) особа, яка супроводжує особу з інвалідністю внаслідок війни І групи;
- 4) особи, на яких поширюється дія Угоди про взаємне визнання прав на пільговий проїзд для осіб з інвалідністю та учасників Великої вітчизняної війни (ВВВ), а також прирівняних до них;

б) громадяни, які постраждали внаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції (АЕС):

1) учасники ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС першої категорій;

2) учасники ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС другої категорій;

3) діти, яким встановлено інвалідність через аварію на Чорнобильській АЕС;

в) особи з інвалідністю:

1) першої, другої і третьої груп;

2) особи з інвалідністю по зору;

3) діти з інвалідністю;

4) особи, які супроводжують осіб з інвалідністю першої групи;

5) особи, які супроводжують дітей з інвалідністю;

г) інші категорії громадян:

1) пенсіонери за віком;

2) військовослужбовці, які стали особами з інвалідністю внаслідок бойових дій;

3) УБД та прирівняні до них;

4) батьки військовослужбовців, які загинули під час проходження військової служби;

5) батьки військовослужбовців, які померли під час проходження військової служби;

6) батьки військовослужбовців, які пропали безвісті під час проходження військової служби;

7) ветерани військової служби;

8) ветерани органів внутрішніх справ;

9) ветерани податкової поліції;

10) ветерани державної пожежної охорони;

11) ветерани Державної кримінально-виконавчої служби України;

- 12) ветерани служби цивільного захисту;
- 13) ветерани Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України;
- 14) діти-сироти;
- 15) діти, позбавлені батьківського піклування, що виховуються у навчально-виховних закладах;
- 16) діти, позбавлені батьківського піклування, що навчаються у навчальних закладах;
- 17) діти до 6 років без зайняття окремого місця для сидіння;
- 18) діти з багатодітних сімей;
- 19) реабілітовані громадяни;
- 20) постраждалі учасники Революції Гідності;
- 21) жертви нацистських репресій (при поїздках в метрополітені).

В додаток до пільг, визначених національним законодавством, можуть існувати деякі пільги, надані місцевою владою.

Поняття доступності також іноді використовується для опису легкості доступу до зупинки або станції ГТ, хоча іноді ці частини подорожі називають частиною середовища ГТ. Якщо доступ до зупинки супроводжується страхом або небезпекою, зупинка ГТ навіть на відстані 200 м від місця проживання може сприйматися, наприклад, 14-річним підлітком як недоступна через ризик того ж пограбування.

Доступність також включає простоту доступу до інформації про можливість здійснення поїздки, тобто інформаційну доступність [1].

Прийнятність транспорту є ще однією важливою якістю ГТ як з точки зору самого транспорту, так і з точки зору пасажирів. Навіть якщо ТЗ ГТ відповідає всім вищеописаним параметрам доступності, потенційних пасажирів може стримувати від користування ГТ:

- стан ТЗ;
- відсутність особистої безпеки у ТЗ при виконанні поїздок, особливо у темну пору доби;

- ставлення водіїв;
- стиль їзди водіїв;
- відсутність місць для очікування на зупинках;
- інших необхідних умов користування ГТ.

Доволі важливим у цьому переліку є стан ТЗ, оскільки саме він призводить до найбільших суперечок у контексті оновлення міського транспорту, який експлуатується тривалий час [1].

Концепція доступності ГТ заснована на вищезгаданій можливості здійснювати транспортні пересування, не суттєво обмежуючи можливостей займатися іншими видами діяльності. Широко розповсюдженою є думка, що пасажери з низьким рівнем доходу змушені:

- скорочувати кількість поїздок, які вони здійснюють;
- користуватися видами транспорту, які не потребують прямих витрат, наприклад, пішими пересуваннями або пересуваннями велосипедом;
- жити в місцях, що мінімізують їх транспорт витрати.

Дані міркування є особливо актуальними у поточний час, в тому числі в українських реаліях, коли багато транспортних послуг міського ГТ надаються приватними підприємствами-перевізниками, які зазнають тиску на фінансову стабільність. Ця ситуація є відмінною від тої, яка спостерігалася, наприклад, десять-двадцять років тому, коли послуги міського ГТ розглядалися як державні та часто отримували значні субсидії або дотації. Показником того, чи впливають ціни на ГТ на подібну ситуацію, можна вважати індекс доступності, котрий розраховується за формулою

$$A = \frac{\sum_{m=1}^M n_m \cdot c}{v}, \quad (1.1)$$

де  $n_m$  – кількість поїздок  $m$ -го члена домогосподарства за аналізований період, од.;

$M$  – загальна кількість членів домогосподарства, осіб;

$c$  – середня вартість однієї поїздки, грн.;

$v$  – дохід домогосподарства за аналізований період, грн. [1, 14].

Поняття транспортної доступності міських територій ґрунтується на двох основних концепціях:

а) перша – це концепція самої локації певного об'єкту відносно транспортної інфраструктури, оскільки саме вона є чинником забезпечення мобільності населення. Кожну локацію можна охарактеризувати набором атрибутів, таких як:

- 1) чисельність мешканців;
- 2) чисельність працівників;
- 3) рівень економічної активності, тощо.

б) другою є концепція відстані, яка є похідною від фізичної віддаленості певних територій. Дана концепція може застосовуватись лише тоді, коли є можливість з'єднати дві локації за допомогою транспорту. Відстань відбиває складність пересування, і місце з найменшою складністю відносно інших, швидше за все, буде найбільш доступним. Складність зазвичай виражається в таких одиницях, як:

- 1) кілометри;
- 2) час;
- 3) вартість;
- 4) витрачена енергія.

Існує дві просторові категорії, що застосовуються до проблем доступності, які є взаємозалежними:

а) перший тип – це топологічна доступність, яка пов'язана з вимірюванням доступності у транспортній мережі (системі вузлів і ребер між ними). Передбачається, що доступність є вимірюваним атрибутом, важливим лише для конкретних елементів ТС, таких як, наприклад, зупинки ГТ або станції метрополітену;

б) другий тип – це безперервна доступність, яка передбачає вимірювання

доступності по всій міській поверхні. За таких умов доступність є показником, похідним від атрибутів кожного місця, що знаходиться на заздалегідь визначеній відстані від інших, оскільки простір вважається безперервним. Це також називається ізохронною доступністю.

Окрім цього, доступність є важливим індикатором базової просторової структури, оскільки вона враховує місце розташування, а також нерівність відстаней між певними районами.

Підсумовуючи викладене варто відмітити, що однією з найбільш розповсюджених оцінок роботи міського ГТ є забезпечення ним транспортної доступності місць тяжіння на території міста. При цьому варто брати до уваги те, що доступність ГТ визначається з огляду на його інфраструктуру, в тому числі конфігурацію маршрутної мережі (ММ) та наявний рухомий склад, який працює на маршрутах та має певні швидкісні характеристики.

## 1.2 Існуюче програмне забезпечення для моделювання роботи міських транспортних систем

Розповсюдженою і дієвою практикою рішення транспортних проблем у розвинених країнах є використання спеціалізованих програмних продуктів з транспортного моделювання, метою яких є надання кількісної оцінки основних параметрів транспортного процесу. Ця інформація є необхідною для прийняття зважених рішень щодо змін у ТС шляхом порівняння їх альтернативних варіантів.

Станом на сьогоднішній день розроблено дуже багато програм, які дозволяють надавати таку кількісну оцінку, і перед фахівцями з транспортного планування не стоїть питання вибору якогось певного підходу чи методу моделювання ТС – необхідно обрати лише інструмент транспортного моделювання, який забезпечить достатнє інформаційне забезпечення прийняття рішень з використанням моделей транспортного попиту і пропозиції [15].

Тут треба розуміти, що жодна з програм не забезпечує абсолютну точність прогнозу та не надає вказівок до вибору того чи іншого інструментарію – вони лише програмно реалізують відомі методи моделювання, кількість і якість чого визначає рівень та корисність програмного продукту. Тому аналіз існуючих програм з транспортного моделювання доцільно проводити з точки зору набору інструментів, який вони мають, а також можливостей їхнього застосування при прогнозуванні показників роботи ТС.

Найбільш відомим прикладом поширення програм для транспортного моделювання можна навести їх перелік, рекомендований до використання Федеральною адміністрацією автомагістралей США (Federal Highway Administration):

- програми для ескізного планування – Highway Design and Management (HDM), Sketch-Planning Analysis Spreadsheet Model (SPASM) і подібні;
- програми для оптимізації ТП – Synchro, TRANSYT-7F, PASSER і подібні;
- програми для розробки макроскопічних симуляційних моделей – Bottleneck Traffic Simulator (BTS), KRONOS, SATURN, TRAF-CORFLO (Corridor Flow) та інші;
- програми для розробки мезоскопічних симуляційних моделей – CONTRAM (Continuous Traffic Assignment Model), DYNASMART, MesoTS та інші;
- програми для розробки мікроскопічних симуляційних моделей – AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks), TSIS (Traffic Software Integrated System), DRACULA, PARAMICS, SISTM (Simulation of Strategies for Traffic on Motorways), SITRAS, TRANSIMS, VISSIM та інші;
- інструменти для аналізу ТП – AAPEX (Arterial Analysis Package Executive), ITRAF, PROGO, UNITES та інші;
- програми для аналітики ТП – FREEPLAN (Freeway Planning), HCS

(Highway Capacity Software), SIGNAL, Synchro, TRAFFIX та інші;

- програми для моделювання попиту на пересування – CUBE, EMME, SATURN, TransCAD, TRANSIMS (Transportation Analysis Simulation System), VISUM та інші [16].

Деякі з перерахованих програм не отримали широкого застосування через наступні недоліки:

- створювалися виключно під рішення задач конкретних замовників;
- використаний у них математичний апарат заснований на спрощених методиках і алгоритмах.

Слід також відзначити і те, що на ринку програм для імітаційного моделювання представлений досить широкий спектр інструментів, призначених для моделювання ТП на мікрорівні. Серед них, наприклад, можна відзначити ті, що найбільше використовуються в європейських країнах:

- AIMSUN;
- DRACULA;
- Paramics;
- SISTM;
- AIMSUN;
- VISSIM.

Для вирішення питань розробки моделей міських ТС також розроблено досить велику кількість програм. Більша частина з них дає можливість моделювання як систем громадського, так і індивідуального транспорту. Наприклад, такі можливості надає програма AIMSUN, що представляє собою повнофункціональний комплекс інструментів аналізу транспортних і пасажирських потоків [17]. У дану програму можна імпортувати і обробляти дані з різних геоінформаційних систем, включаючи ESRI та інших. Також в ній підтримуються формати даних з інших програм, в число яких входять, EMME, CONTRAM, SATURN, TRANSYT, VS-PLUS.

AIMSUN являє собою програму, здатну відтворювати умови руху на міських ВДМ, в тому числі швидкісних автомагістралях. У програмі

застосований мікроскопічний підхід до моделювання – поведінка кожного окремого ТЗ у ВДМ постійно коригується згідно з моделями поведінки водія. AIMSUN поєднує дискретно-безперервний підхід до моделювання:

- в ньому є ряд таких елементів транспортних систем, як ТЗ і детектори, стан яких постійно змінюється протягом періоду моделювання;
- в ньому є інші елементи, такі як світлофори, стан яких змінюється дискретно в задані моменти моделювання.

Програма дуже детально моделює ТП в мережі:

- розрізняються окремі види ТЗ та їх водії;
- враховується широкий спектр мережевої геометрії;
- враховуються типові інциденти і т.д.

AIMSUN інтегрований в імітаційну середу GETRAM (узагальнена середа для аналізу і моделювання ТП), яка складається з:

- графічного редактора мережі;
- бази даних мережі;
- статичної моделі задач;
- часових моделей;
- модуля для зберігання і представлення результатів [18].

DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Micro-simulation) є програмою для мікромоделювання, розробленою в Інституті транспортних досліджень Університету м. Лідса, Великобританія. Вона є складовою частиною пакета програм SATURN, розроблених за підтримки консалтингової компанії Atkins Realis. Програма надає можливості вивчення витрат на поїздки з урахуванням:

- заторів в режимі реального часу;
- динамічного маршрутного орієнтування;
- впровадження відокремлених смуг руху для ГТ;
- процедур евакуації в разі надзвичайних ситуацій;
- стратегічного моделювання.

В даний час DRACULA дозволяє моделювати наслідки політик управління транспортним попитом та пропозицією в мережі маршрутів, але є плани розширити цей діапазон можливостей за рахунок можливостей більш детального моделювання пересувань та локації місць проживання і роботи [18], наприклад:

- вибір маршруту може бути змодельований на рівні окремого водія або він може бути зафіксований;
- можливий вибір часу поїздки за маршрутом у відповідь на несподівані ситуації;
- деталізації вибору смуги руху, щоб уникнути попадання в смугу з великим затором.

З точки зору моделювання спеціальних умов, таких як нещасні випадки, лиха чи погодні умови, які негативно відбиваються на пропускній здатності доріг, пакет DRACULA – ідеальний. Він надає можливість моделювати реакцію водіїв на інформацію в дорозі (коли, наприклад, спостерігається затор або по радіо надається відповідна інформація), беручи до уваги те, як вони використовують свій практичний досвід з подолання надзвичайних ситуацій, збережений в їх особистому файлі історії [18].

PARAMICS (PARAllel MICroscopic Simulation) являє собою набір програмних інструментів для моделювання дорожнього руху на мікрорівні. Даний пакет широко використовується у Великобританії і США. Він призначений для моделювання функціонування перехресть, регульованих правилами пріоритету і світлофорами, транспортних розв'язок, перевантажених автострад, оптимізації роботи ГТ, з'їздів з автомагістралей, світлофорів і т. ін. [15, 18]. PARAMICS дозволяє реалізувати підходи до моделювання потоків на транспортній мережі будь-якого розміру, починаючи з простого перехрестя і закінчуючи національною транспортною мережею. Основними обмеженнями на розмір мережі є обсяг пам'яті і потужність комп'ютера. Пакет підтримує можливість моделювання поїздок близько 200 тисяч окремих автомобілів в одиницю часу. Існує можливість задати сім класів ТЗ, також користувач може

створити свій власний тип ТЗ. У кожного ТЗ є заданий інтервал часу (в середньому 1 секунда), через який перевизначається його положення на мережі і його поведінка. В пакеті реалізований алгоритм, який задає рух автомобіля по заданій траєкторії. Рух регулюється фізичними атрибутами автомобіля і його поточною швидкістю. Підтримується можливість визначення маршруту згідно з матрицею кореспонденцій. В PARAMICS реалізовані можливості збору статистики і формування всебічних звітів про аналіз транспортної мережі. Передбачені 2D і 3D візуалізація, створення презентацій та відеороликів [15, 18].

SISTM (SImulation of Strategies for Traffic on Motorways) – програма, призначена для досліджень дорожнього руху у складних умовах з метою розробки та оцінки різних стратегій, спрямованих на зменшення заторів. Її розробка була розпочата у 1988 р. SISTM може оцінювати:

- різні рішення щодо конфігурації автомагістралей (включаючи їх перетини);
- змінні системи обмеження швидкості;
- зміну характеристик ТЗ;
- зміну поведінки водіїв.

Продукт розроблений у Великобританії (Highways Agency) і доступний для всіх, хто бажає займатись моделюванням руху по автомобільним дорогам. Під час моделювання відбувається мікроімітація функціонування автомагістралі з автомобілями з використанням рівняння Гіпса. Поведінка кожного водія описується двома параметрами – агресивністю і розумінням, – які використовуються для отримання бажаного розподілу швидкостей та інтервалів між ТЗ [15, 18].

EMME – це повна система моделювання попиту на пересування для прогнозування транспортної ситуації на міському, регіональному та національному рівнях. Програма EMME використовується у багатьох великих містах світу і забезпечує роботу декількох найскладніших у світі моделей транспортного прогнозування [19]. Програма надає відкритий підхід до моделювання і робить можливим розробку моделі, заснованої на місцевих

потребах. Програмне забезпечення надається в окремих модулях, і користувач самостійно обирає набір модулів, в залежності від потреб моделювання. Плагін для моделі ЕММЕ дозволяє інтеграцію з програмою ArcGIS. Модель вимагає дуже інтенсивної обробки даних і не має параметрів за замовчуванням, які є корисними при розробці простих транспортних моделей в умовах обмежених ресурсів та досвіду. Програмне забезпечення особливо корисне для аналізу мультимодальних ТС.

Програма Cube має хороші інструменти для моделювання та управління різними сценаріями роботи ТС. Можливість моделювати сценарії та управляти ними дозволяє використовувати різні підходи до процесу моделювання. Програма складається з базового інтерфейсу Cube та бібліотеки програм для виконання різних етапів моделювання. Базовий Cube інтегрований з ArcGIS, щоб забезпечити доступ до баз геоданих, редагування транспортної мережі і відображення картографії. Модуль Cube Voyager використовується для моделювання попиту пасажирів на пересування.

Найбільшого поширення у сфері транспортного планування отримав набір програм компанії PTV з Німеччини, що включає в себе інструменти для планування розвитку транспортної мережі на всіх рівнях, починаючи від простого перехрестя (програма VISSIM) до транспортної мережі всього міста, регіону чи навіть країни (програма VISUM).

VISUM являє собою багатоцільову програму для моделювання ТП на мікрорівні. Він широко використовується у Європі, США та інших країнах. Пакет призначений для аналізу, реінженірінга та оптимізації міських та міжміських транспортних сполучень. Програмне забезпечення дозволяє моделювати міські перехрестя будь-якої складності і типу регулювання, аналізувати пропускну здатність ТС і тестувати схеми роз'їзду ТЗ. Пакет дозволяє управляти системами контролю дорожнього руху, аналізувати місткість стоянок і моделювати потоки різних ТЗ з перетинами, пересадками на різних рівнях і т.п. Реалізована можливість підключення до програм VISUM, ЕММЕ, TEAPACK і SYNCHRO. У VISSIM програмно реалізована модель

Відерманна, яка описує поведінку водія. У ній враховуються психофізіологічні можливості людини:

- зниження уваги;
- зміна часу реакції;
- час, необхідний для прийняття рішення [18].

VISSIM надає можливості збору статистики на будь-якій ділянці транспортної мережі та формування звітів, створення презентацій та відеороликів.

VISUM є зручною програмою, яка дозволяє інтегрувати різні види транспорту в одну транспортну модель. VISUM використовує геоінформаційні системи (ГІС) для відображення і редагування мережі. Програмне забезпечення інтегровано з VISSIM і пропонує різні варіанти аналізу розподілу ТП, в тому числі ізохрони часу на переміщення і моделювання перехресть. VISUM дозволяє з легкістю імпортувати моделі з інших програмних пакетів, включаючи Cube, TransCAD та EMME.

Схожі функціональні можливості з програмним комплексом PTV має TransCAD [20]. TransCAD – це програма, поєднана з ArcGIS в єдину інтегровану платформу, котра включає в себе складні функції ГІС. TransCAD використовує унікальну програмну мову GISDK, яка дозволяє моделювати транспортні процеси та забезпечувати програмну реалізацію додаткових функцій, недоступних за замовчуванням. TransCAD дає можливість застосування декількох альтернативних методик для кожного кроку процесу транспортного моделювання, а також має ряд інструментів для аналізу та відображення результатів. Програма може бути інтегрована з TransModeler для моделювання руху та 3D-візуалізації. Недоліком програми є висока ціна та необхідність використання нетипової мови програмування GISDK для керування програмою.

Результати проведеного аналізу свідчать про наявність двох основних підходів до побудови моделей ТС:

- макромодельювання – коли на вихідному наборі гіпотез відразу

будується закінчена аналітична модель;

– мікромодельовання – коли застосовуються програмно кодовані алгоритми поведінки учасників дорожнього руху.

Моделі, що використовуються в розвинених країнах світу, вимагають обережного застосування як мінімум через існуючу у різних країнах різну специфіку організації роботи транспорту. Сучасні вимоги до транспортних моделей є такими, що вони повинні забезпечувати можливості для інтегрування з ГІС-моделями і базами даних.

Загалом з проведеного аналізу можна зробити висновок, що серед програм для моделювання ТС існують два сімейства:

– для вирішення задач на макрорівні – таких як прогноз кореспонденцій і потоків, реалізований на загальноприйнятій чотирьохетапній транспортній моделі;

– для вирішення задач на мікрорівні – таких як аналіз параметрів руху, затримок і пропускних спроможностей на локальних ділянках мережі. Ці завдання вирішуються в основному із застосуванням імітаційного моделювання.

Всім вимогам, що пред'являються до програмного забезпечення, яке повинне дати можливість оцінки транспортної доступності різних міських районів, відповідає програма VISUM. Окрім того, в нього вбудована більшість з найвідоміших на цей час методів та моделей виконання кожного етапу транспортного моделювання.

### 1.3 Аналіз мережі маршрутів громадського транспорту міста Луцьк

Для схеми руху ГТ м. Луцьк характерна діагональна організація зі слабо вираженими хордовими зв'язками. Така структура без спеціальних заходів та при ініціативному підході до відкриття маршрутів ГТ часто призводить до надмірної концентрації маршрутів у центральній частині міста. Іншим негативним наслідком подібної структури є великі витрати часу при

пересуваннях між суміжними околицями міста. Збільшення часу пересування додатково зумовлюється територіальними особливостями м. Луцьк, які полягають в тому, що місто перетинає залізниця та воно розташоване на березі р. Стир. В сукупності це обмежує розвиток ВДМ.

Система ГТ м. Луцьк складається з:

– тролейбусних маршрутів, які забезпечують виконання основної частини соціально значущих перевезень пасажирів. Рух тролейбусів організований в звичайному режимі – з дотриманням усіх зупинок, передбачених розкладом руху, але мають місце зупинки «на вимогу»;

– автобусних маршрутів, котрі мають надавати більшу зручність та комфорт при їх використанні. Рух автобусів організований у режимі маршрутного таксі – можлива посадка і висадка пасажирів на їхню вимогу на шляху прямування ТЗ в місцях, де це не заборонено правилами дорожнього руху [21].

При аналізі існуючої системи ГТ міста використовувались Державні Будівельні Норми України [22] щодо роботи міського ГТ та ВДМ, так як вони регламентують основні вимоги до роботи ГТ. При цьому доцільно додержуватись двох основних напрямків аналізу: просторова доступність ММ та експлуатаційні характеристики роботи маршрутів.

Під просторовою доступністю ММ ГТ розуміється її стан, що визначається комплексом показників та характеризується ступенем важкості користування ГТ. Одним із показників доступності послуг ГТ міста є можливість користування для пересувань маршрутами, на яких в повному обсязі можуть бути реалізовані пільги на проїзд, що надаються державою або місцевими органами самоврядування для малозабезпеченої частки мешканців міста. Так як пільги в сфері ГТ забезпечують можливість безкоштовного проїзду або його часткової оплати для відповідних категорій громадян, то аналізувати необхідно не кореспонденції, а обслуговування ділянок ММ соціально значущими тролейбусними маршрутами КП «Луцьке підприємство електротранспорту». Результати такого аналізу свідчать, що 51,9 % ділянок

ВДМ, по яких проходить ГТ, обслуговуються соціальними маршрутами. При цьому кількість зупинок, що обслуговується тролейбусними маршрутами, складає 56,1 %.

Наступним показником, яким можна оцінити доступність ММ, є відстані між суміжними ЗП – довжини перегонів. Вони повинні відповідати стандартам, визначеним у [22] і для середніх міст, до яких відноситься м. Луцьк, складати:

- у центральній зоні містобудівної цінності – (250-350) м;
- у середній зоні містобудівної цінності – (500-600) м;
- у периферійній зоні містобудівної цінності – (600-700) м.

Зменшення відносно нормативного значення призводить до збільшення кількості ЗП на маршруті і, відповідно, до зниження швидкості сполучення. В свою чергу збільшення довжини перегону понад нормативне значення призводить до наднормативного часу підходу пасажирів до ЗП. Отже, довжина перегону має важливе технологічне значення в процесі задоволення потреб населення в пересуваннях. Розрахунок по даному показнику проводиться за формулою:

$$\bar{l}_{пер} = \frac{\sum_{x=1}^k l_{пер x}}{k}, \quad (1.2)$$

де  $\bar{l}_{пер}$  – середня довжина перегону ММ, км;

$l_{пер x}$  – довжина  $x$ -го перегону, км;

$k$  – загальна кількість перегонів у ММ, од.

Додатково до середнього значення  $\bar{l}_{пер}$  були розраховані граничні значення відстаней між ЗП та середньоквадратичне відхилення цієї величини за формулою

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^k (l_{nep\ x} - \bar{l}_{nep})^2}{k}}. \quad (1.3)$$

Результати розрахунків представлені в таблиці 1.1, за даними якої видно, що середня довжина перегону на маршрутах ГТ м. Луцьк відповідає нормативам [22].

Таблиця 1.1 – Характеристика відстаней між зупиночними пунктами

Показник	Значення за видами транспорту		
	тролейбус	автобус	загалом
Кількість відстаней між зупиночними пунктами, од.	188	383	412
Середнє значення відстаней між зупиночними пунктами, км.	0,383	0,401	0,404
Мінімальне значення відстаней між зупиночними пунктами, км.	0,121	0,092	0,092
Максимальне значення відстаней між зупиночними пунктами, км.	2,257	2,257	2,257
Середньоквадратичне відхилення відстаней між зупиночними пунктами, км.	0,231	0,254	0,251

У той же час слід зазначити, що в місті існує досить велика кількість перегонів з довжиною менше 400 метрів, а саме 60 %, що робить актуальним питання проведення ревізії мережі ЗП міста та розгляду доцільності перевodu роботи автобусних та троллейбусних маршрутів у звичайний режим руху з метою виключення зупинок на вимогу. Це дасть можливість підвищити швидкість сполучення та знизити витрати часу населення на поїздки ГТ.

Стосовно доступності ММ слід додати, що згідно з ДБН [22] дальність пішохідних підходів:

- у багатоповерховій житловій забудові повинна бути до 500 м;
- у середньо-, малоповерховій та садибній забудові – до 600 м;
- у промислових і комунально-складських зонах – до 400 м. від прохідних підприємств;
- у зонах масового відпочинку і спорту – до 800 м від головного входу;
- від громадських об'єктів масового відвідування у загальноміському центрі – до 250 м.

Для об'єктів масового відвідування та підприємств м. Луцьк дані вимоги виконуються. Стосовно районів індивідуальної садибної забудови, то дальність пішохідного підходу дещо перевищує норму у районах «Кічкарівка», «Красне» та садівничого товариства «Маяк».

Ступінь розвиненості ММ прийнято оцінювати маршрутним коефіцієнтом  $k_m$ , який визначається шляхом відношення суми довжин усіх маршрутів міста до загальної довжини транспортної мережі, по якій проходять маршрути ГТ:

$$k_m = \frac{\sum_{z=1}^m l_{mz}}{L_m}, \quad (1.4)$$

де  $l_{mz}$  – довжина  $z$ -го маршруту ГТ, км;

$m$  – кількість маршрутів ГТ в місті, од.;

$L_m$  – довжина транспортної мережі, по якій проходять маршрути ГТ, км.

Висновок про ефективність функціонування ММ по даному показнику робиться на основі того, що він показує середню кількість маршрутів,ю що проходять ділянкою ММ.

Довжина ділянок ВДМ, по яких здійснюється рух маршрутів ГТ в межах міста, дорівнює 87 км, а сумарна довжина усіх маршрутів в межах міста складає 511,41 км. Таким чином, маршрутний коефіцієнт для міста Луцька складає:

$$k_m = \frac{535,99}{90,71} = 5,91.$$

Це значення є доволі великим, що не можна вважати однозначно позитивним результатом, адже воно вказує дублювання маршрутів, яке може призводити до:

- перевантаження ЗП;
- перевантаження транспортної мережі;
- до нерівномірного розподілу пасажиропотоків серед перевізників.

Щільність ММ визначають шляхом відношення загальної довжини транспортної мережі міста, по якій проходять маршрути ГТ, до селітебної площі міста:

$$\delta = \frac{L_m}{F_{сел}}, \quad (1.5)$$

де  $F_{сел}$  – селітебна площа міста, км<sup>2</sup>;

Щільність мережі ліній наземного ГТ на забудованих територіях варто приймати залежно від їхнього функціонального використання та інтенсивності пасажиропотоків, як правило, (1,5-2,5) км/км<sup>2</sup>. При цьому необхідно забезпечувати нормативні відстані підходу до зупинок ГТ. У центральних районах великих і найкрупніших міст щільність мережі допускається збільшувати до (4-4,5) км/км<sup>2</sup> [22].

Розрахунок  $\delta$  проводився виходячи із значення селітебної площі міста Луцька 25,7 км<sup>2</sup> [23]:

$$\delta = \frac{90,71}{25,7} = 3,53 \text{ км/км}^2.$$

Цей результат свідчить про те, що ММ характеризується достатньо

високою розвиненістю.

Як показують емпіричні розрахунки, незалежно від схеми транспортної мережі її щільність пов'язана із середньою пішохідною доступністю. Якщо прийняти як мінімальне значення пішохідної доступності 250 м від об'єктів масового відвідування, то мінімально припустиме значення щільності мережі можна визначити за формулою

$$\delta = \frac{1}{3 \cdot l_{nd}}, \quad (1.6)$$

$$\delta_{\min} = \frac{1}{3 \cdot 0,25} = 1,33 \text{ км/км}^2.$$

Окрім цього, щільність ММ є основою для оцінки середньої дальності підходу пасажирів до ЗП, яка може бути визначена за формулою

$$l_{nd} = \frac{1}{3 \cdot \delta}, \quad (1.7)$$

$$l_{nd} = \frac{1}{3 \cdot 3,53} = 0,094 \text{ км.}$$

Таким чином, в середньому по місту існуюча мережа ГТ м. Луцька забезпечує виконання державних нормативів України з пішохідної доступності маршрутного транспорту.

#### 1.4 Висновки по розділу

1. Однією з найбільш розповсюджених оцінок роботи міського ГТ є забезпечення ним транспортної доступності місць тяжіння на території міста.

При цьому варто брати до уваги те, що доступність ГТ визначається з огляду на його інфраструктуру, в тому числі конфігурацію ММ та наявний рухомий склад, який працює на маршрутах та має певні швидкісні характеристики.

2. Всім вимогам, що пред'являються до програмного забезпечення, яке повинне дати можливість оцінки транспортної доступності різних міських районів, відповідає програма VISUM – у неї вбудована більшість з найбільш застосовуваних на цей час методів та моделей виконання кожного етапу транспортного моделювання.

3. В результаті проведеного аналізу доступності ММ м. Луцьк можна зробити наступні висновки:

– для ММ ГТ міста, характерна діагональна структура зі слабо вираженими хордовими зв'язками, що приводить до підвищеної концентрації маршрутів ГТ в центральній частині міста та великих витрат часу при пересуваннях між його суміжними околицями. Серед іншого це обумовлено тим, що через місто проходить залізниця та воно розташоване вздовж берегу р. Стир;

– значення маршрутного коефіцієнту  $k_m = 5,91$  вказує на наявність відчутного дублювання маршрутів ГТ;

– результати аналізу можливості користування послугами ГТ для пільгових категорій населення свідчать про неповне охоплення території міста соціально значущими тролейбусними маршрутами;

– середня довжина перегонів ГТ м. Луцька відповідає нормативним значенням, але велика кількість перегонів з малою довжиною вказує на доцільність переводу роботи маршрутів ГТ у звичайний режим руху;

– щільність ММ м. Луцьк  $\delta = 3,53$  км/км<sup>2</sup> свідчить про достатньо високу розвиненість мережі ГТ та виконання нормативів з пішохідної доступності ГТ.

## 2 ФОРМУВАННЯ МЕТОДИКИ РОЗРОБКИ ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ МІСТА ЛУЦЬК ТА ОЦІНКИ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ МІСЦЬ ТЯЖІННЯ НА МІСЬКІЙ ТЕРИТОРІЇ

### 2.1 Методика розробки транспортної моделі громадського транспорту міста Луцьк

В галузі міських пасажирських перевезень транспортна пропозиція ГТ являє собою його інфраструктуру, яка представляється:

- трасами маршрутів всіх видів ГТ;
- рухомим складом;
- розкладами руху;
- зупиночними пунктами;
- лінійними спорудами;
- автотранспортними перевізниками та ін.

У даній ДР для моделювання ММ міста Луцьк буде використовуватися німецький програмний продукт VISUM, в якому транспортна модель складається з:

- моделі транспортного попиту;
- моделі вулично-дорожньої мережі (ВДМ);
- різних моделей дій – взаємодії між двома попередніми моделями.

Модель мережі містить дані транспортної пропозиції. Вона складається з:

- вузлів;
- зупинок;
- відрізків автомобільних доріг;
- маршрутів ГТ;
- розкладів руху рухомого складу на маршрутах.

У VISUM дані щодо пропозиції транспортних послуг можна візуалізувати та обробляти.

Для моделювання потрібно виконати етапи, відбиті за допомогою схеми

на рисунку 2.1.

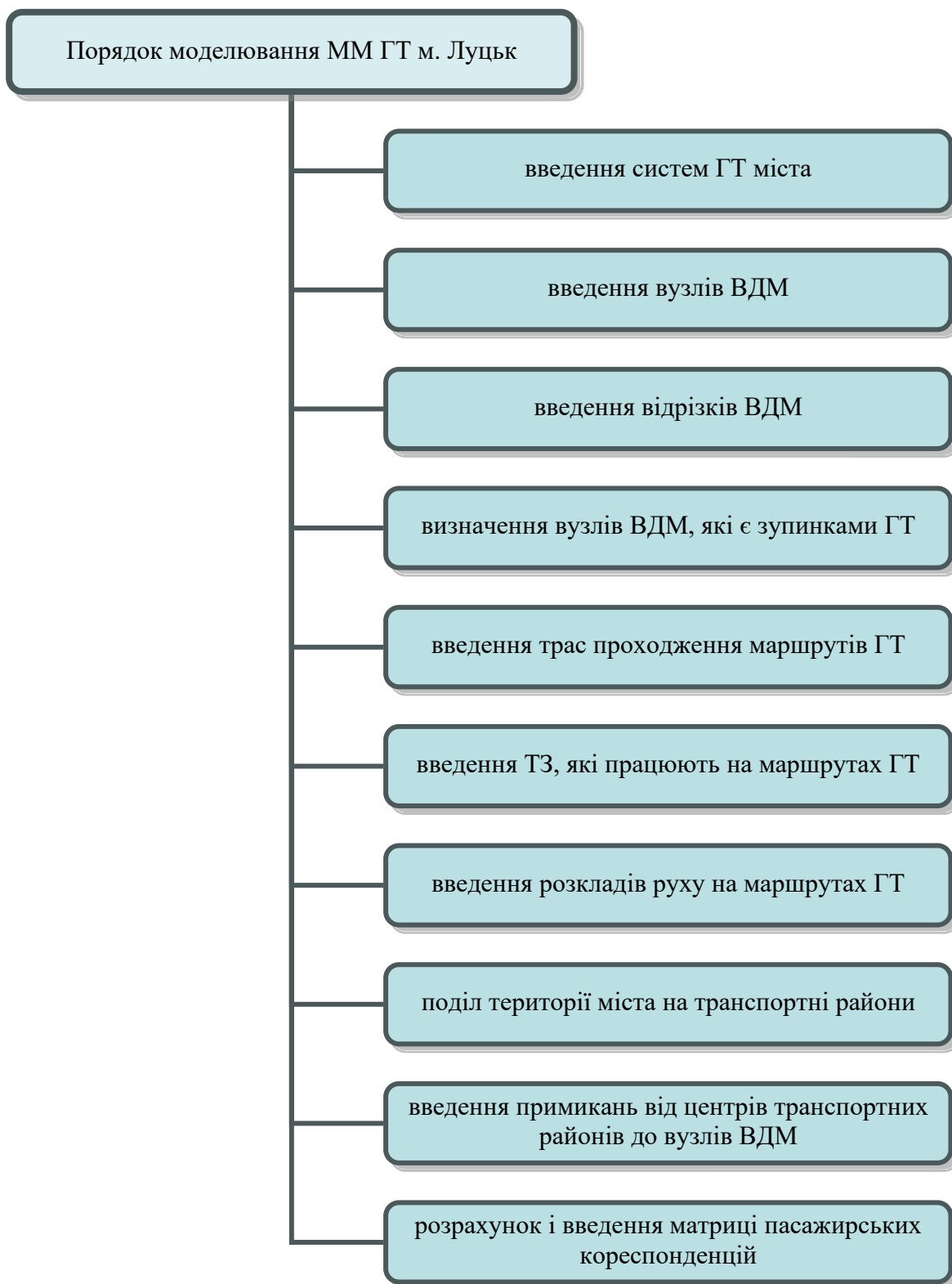


Рисунок 2.1 – Методика моделювання системи ГТ м. Луцьк у програмі VISUM

Розробка точної моделі транспортної пропозиції дозволить забезпечити високу точність розрахунку показників транспортної доступності міських територій. Забезпечити надійний прогноз потреб населення у пересуваннях можна на основі фактичних даних. При цьому розрахунок матриці пасажирських кореспонденцій доцільно здійснити по гравітаційній моделі як такої, що набула широкого застосування на практиці.

## 2.2 Методика оцінки транспортної доступності об'єктів масового відвідування у місті

Для оцінки транспортної доступності найбільших об'єктів транспортного тяжіння у місті Луцьк буде використана функція побудови ізохрон. Ізохрони являють собою лінії рівної віддаленості від певної точки на міській території.

У VISUM ізохрони описують місця, які мають однакову часову віддаленість до певної точки. VISUM дозволяє вибрати один або декілька об'єктів мережі і розрахувати час пересування між цими об'єктами – вузлами, транспортними районами (ТР) або зупинками. Потім ізохрони можуть бути відображені графічно на основі класифікації розрахованих часів пересувань від певних елементів мережі.

Типовими прикладами використання цієї функції є аналіз прогалін в обслуговуванні громадським транспортом важливих пунктів призначення.

Розрахунок ізохрон може також базуватися на інших параметрах, окрім часу в дорозі – наприклад, на опорі шляху сполучення, вираженому за допомогою різних параметрів витрат на пересування. Це дозволяє використовувати ізохрони для аналізу транспортної доступності об'єктів на території міст.

Якщо для розрахунку ізохрон обрано кілька об'єктів мережі, для кожної зв'язку між ними розраховуються найкоротші шляхи. Найкоротший з цих найкоротших шляхів визначає, яка характеристика доступності буде присвоєною об'єкту мережі.

Розрахунок ізохрон не тільки дозволяє створити графічне відображення доступності. Дані, отримані в результаті розрахунку, зберігаються разом з вузлами, ТР і зупинками та є доступними як атрибут для подальшого використання. Розрахунок ізохрон проводиться окремо для транспортних систем громадського та індивідуального транспорту. Результати, однак, можуть бути відображені разом у вигляді графіків або таблиць.

На додаток до відображення розрахованого часу ізохрон, у VISUM доступною є можливість показати просторову екстраполяцію на площу.

Ізохрони ГТ використовуються для аналізу доступності вузлів, зупинок і ТР в межах заданого періоду аналізу. Доступність визначається на основі пошуку сполучень на основі розкладу руху ТЗ на маршрутах ГТ – пошук може базуватися на інтервалі часу відправлення або прибуття.

У першому випадку визначаються всі сполучення, що відправляються з обраного об'єкта мережі протягом певного періоду часу. Цей проміжок часу вводиться після того, як вибраний період відправлення, і відноситься до часу, протягом якого повинен бути досягнутий пункт призначення.

У другому випадку аналізуються всі сполучення, які забезпечують прибуття до вибраного об'єкта мережі протягом певного періоду часу. Вузли ВДМ, зупинки, ТР або комбінацію цих об'єктів мережі у VISUM можна використовувати як опорні точки ізохрон ГТ.

Результати розрахунку ізохрон ГТ можна знайти в атрибутах «Isochrones time PuT» та «Isochrones number of transfers PuT» для вузлів, зупинок і ТР – для кожного об'єкта мережі вказується мінімальний час у дорозі та мінімальну кількість необхідних пересадок. Значення мінімального часу в дорозі та мінімальної кількості необхідних пересадок можуть бути отримані для різних сполучень, тобто не обов'язково існує сполучення, яке включає обидва показники. Результати залежать від вказаного періоду аналізу. На розрахунок можна вплинути, обмеживши пошук активними ділянками маршруту ТЗ або вказавши максимальну кількість пересадок.

Для графічного відображення ізохрон PuT в редакторі мережі доступні

наступні опції:

а) 2D-малюнок – атрибути «Isochrones time PuT» та «Isochrones number of transfers PuT» можуть бути використані у 2D для класифікації інтервалів доступності.

б) класифіковане представлення вузлів, зупинок і TP – атрибути «Isochrones time PuT» та «Isochrones number of transfers PuT» можна використовувати для класифікованого представлення одного або всіх перелічених типів мережевих об'єктів.

### 2.3 Висновки по розділу

1. Розробка точної моделі транспортної пропозиції дозволить забезпечити високу точність розрахунку показників транспортної доступності міських територій. Забезпечити надійний прогноз потреб населення у пересуваннях можна на основі фактичних даних. При цьому розрахунок матриці пасажирських кореспонденцій доцільно здійснити по гравітаційній моделі як такий, що набула широкого застосування на практиці.

2. Для оцінки транспортної доступності найбільших об'єктів транспортного тяжіння у місті Луцьк доцільно використати функцію побудови ізохрон, яка дозволяє розрахувати їх та створити відповідне графічне відображення транспортної доступності мережевих об'єктів.

## 3 РОЗРОБКА ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ МІСТА ЛУЦЬК

### 3.1 Розробка моделі пропозиції громадського транспорту міста

Для моделювання пропозиції ГТ м. Луцьк у даній ДР була використана програма VISUM. В ході моделювання ММ міста були виконані наступні етапи:

- а) введені системи ГТ міста;
- б) введені вузли ВДМ;
- в) введені відрізки ВДМ;
- г) визначено вузли ВДМ, які є зупинками ГТ;
- д) введені траси проходження маршрутів ГТ;
- е) введені ТЗ, які працюють на маршрутах ГТ;
- ж) введені розклади руху на маршрутах.

Як видно, процес створення ММ ГТ у VISUM починається визначенням систем транспорту, що функціонують у місті. У моделі ГТ м. Луцьк взаємодіють наступні системи транспорту:

- а) система руху тролейбусів;
- б) система руху автобусів;
- в) система руху пішоходів.

Вихідними даними для моделювання транспортної мережі ГТ м. Луцьк є цифрова карта міста, яка виступає як фонове зображення («підкладка»). Така карта була завантажена із сервера <https://www.arcgis.com/>. Вона є достатньо деталізованою та відбиває всі необхідні для моделювання елементи (вулиці, дороги, об'єкти інфраструктури, тощо). Зображення карти, що використана для моделювання ВДМ м. Луцька, наведене на рисунку 3.1.

Зверху карти у VISUM були нанесені вузли та відрізки. Вузли – це точкові об'єкти, які визначають розташування перехресть, зупинок ГТ та інших місць можливої зміни характеристик транспортного чи пішохідного потоків. Вони є початковими або кінцевими пунктами відрізків ВДМ.



Рисунок 3.1 – Карта м. Луцьк, використана  
для моделюванні ММ ГТ

Відрізки з'єднують вузли і таким чином утворюють вулиці і дороги ВДМ. Відрізок – це спрямоване ребро, яке характеризується прямим і зворотним напрямком, котрі є самостійними об'єктами мережі.

Кожен із перерахованих вище об'єктів мережі описується переліком атрибутів. Методика моделювання ВДМ базується на поступовому нанесенні на карту вузлів та з'єднання їх відрізками. Таким чином формується основа для створення маршрутної мережі міста. Всього на карту міста було нанесено 446

вузлів (рисунок 3.2) та 545 відрізків.

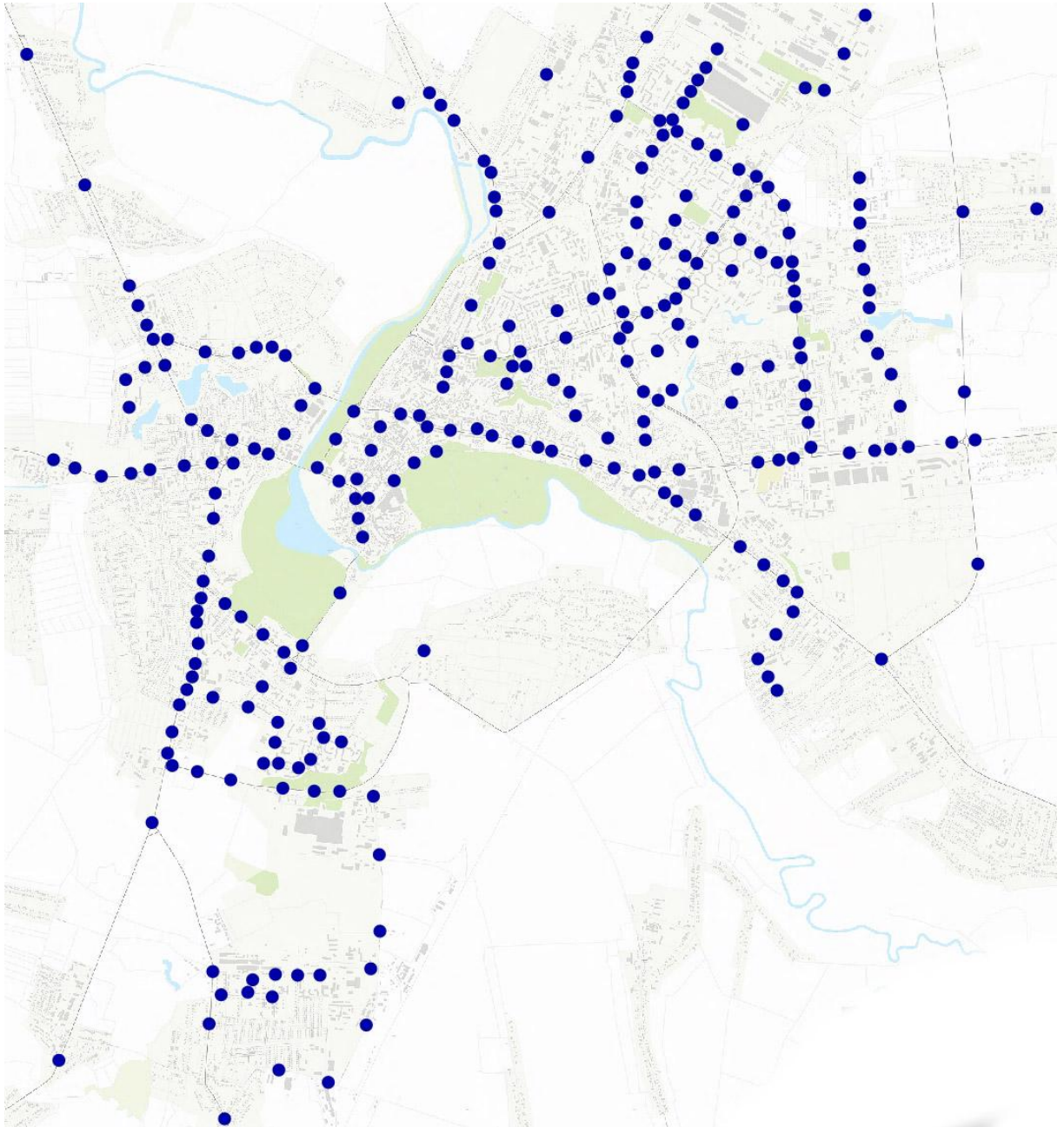


Рисунок 3.2 – Вузли ВДМ міста Луцьк

В результаті загальна протяжність модельованої ВДМ склала 136,73 км. (з урахуванням частини доріг, які використовуються ГТ за межами міста). Зображення ВДМ міста Луцьк наведено на рисунку 3.3.

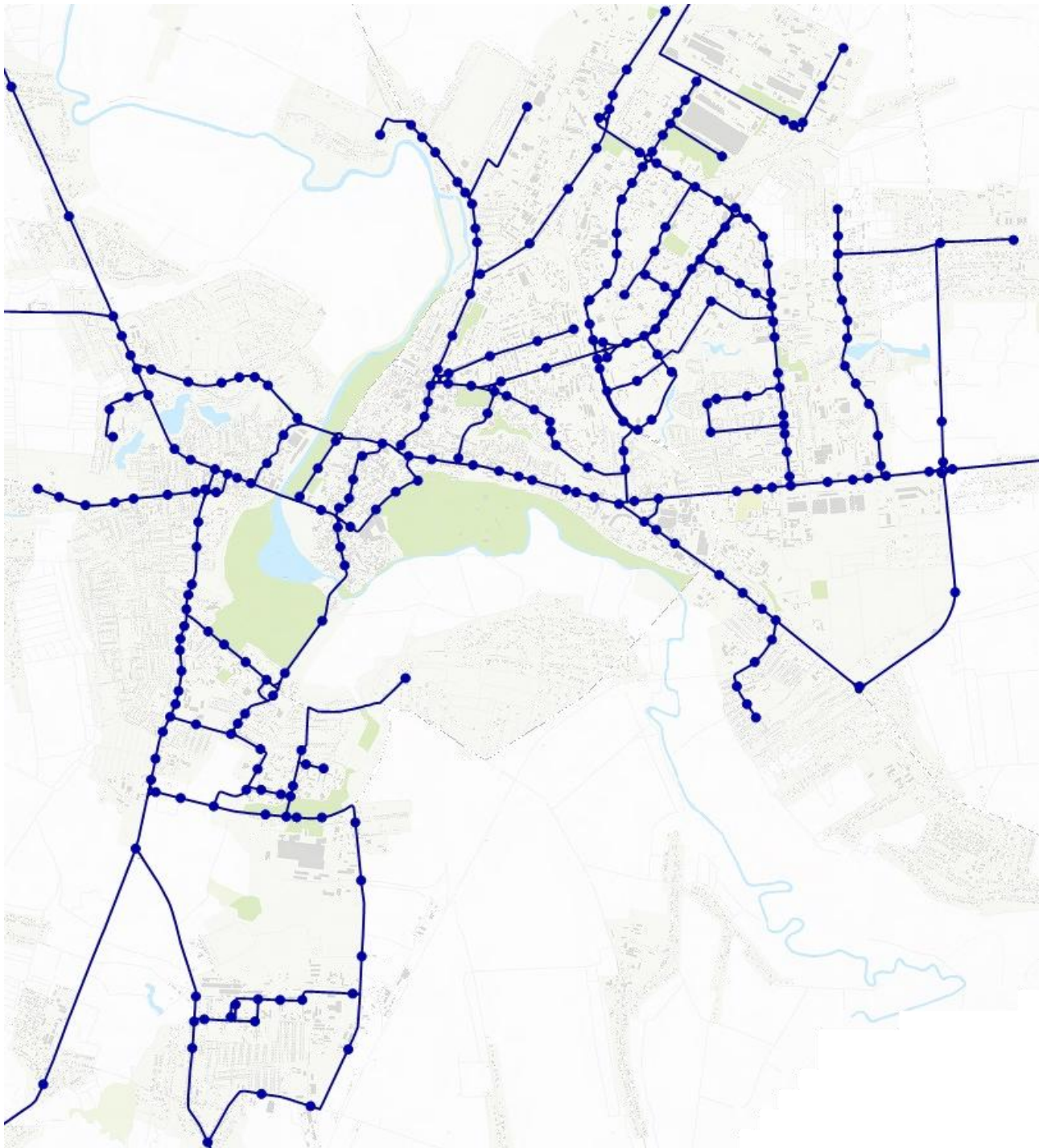


Рисунок 3.3 – Модель ВДМ міста Луцьк

На наступному у модель були внесені зупинки ГТ. Їх розташування зображене на рисунку 3.4.

Наступним етапом моделювання є введення маршрутів ГТ, а саме траси кожного маршруту (рисунок 3.5), ЗП, які вони обслуговують, та розкладу руху автобусів (рисунок 3.6).

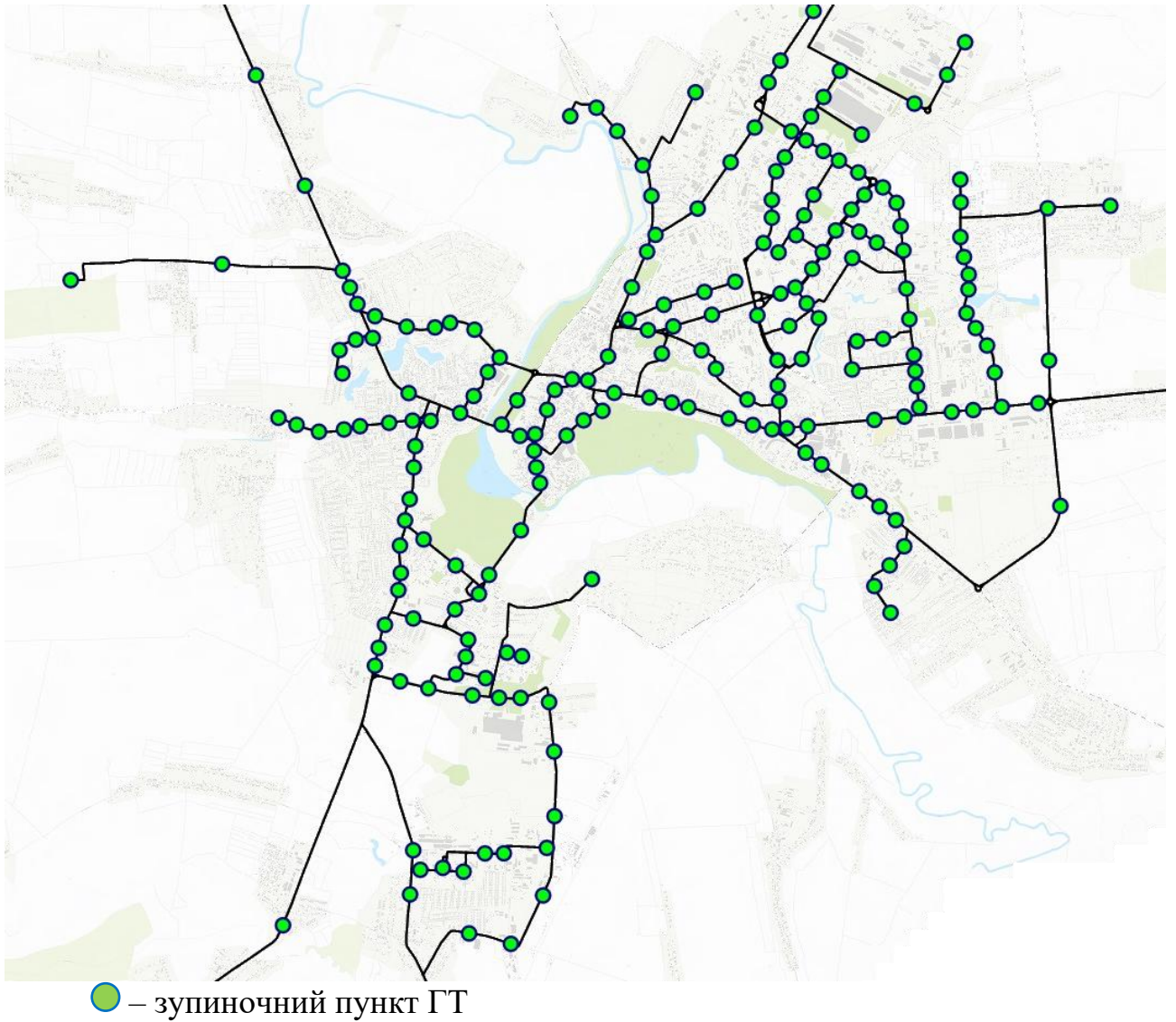


Рисунок 3.4 – Просторове розташування ЗП ГТ м. Луцька

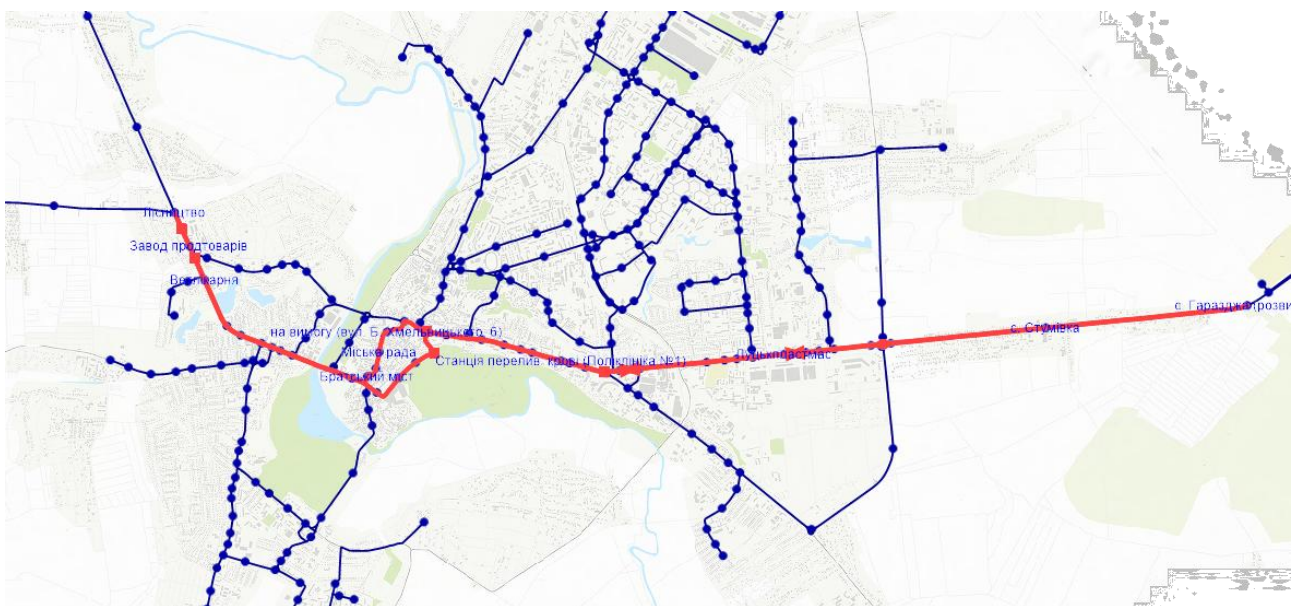


Рисунок 3.5 – Приклад введення траси тролейбусного маршруту № 3

Timetable (tabular)											
13 vehicle journeys											
No	4411	4418	4412	4419	4413	4420	4414	4421	4415	4422	4416
Name											
LineName	TL №3	TL №3	TL №3	TL №3	TL №3	TL №3	TL №3	TL №3	TL №3	TL №3	TL №3
DirectionCode	>	<	>	<	>	<	>	<	>	<	>
FromTPProfileIdentifier	1: 58	1: 1205	1: 58	1: 1205	1: 58	1: 1205	1: 58	1: 1205	1: 58	1: 1205	1: 58
Dep	07:51:00	08:53:00	09:51:00	11:23:00	12:21:00	13:23:00	14:21:00	15:53:00	16:51:00	17:53:00	18:51:00
Arr	08:39:32	09:41:34	10:39:32	12:11:34	13:09:32	14:11:34	15:09:32	16:41:34	17:39:32	18:41:34	19:39:32
ToTPProfileIdentifier	26: 1205	31: 58	26: 1205	31: 58	26: 1205	31: 58	26: 1205	31: 58	26: 1205	31: 58	26: 1205
OperatorIdentifier	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ	1 ЛПЕ
CountVehJourneySec	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
IsCoupled	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
vehicle journey section											
VehCombIdentifier	4 Jelcz	4 Jelcz	4 Jelcz	4 Jelcz	4 Jelcz	4 Jelcz	4 Jelcz	4 Jelcz	4 Jelcz	4 Jelcz	4 Jelcz
FromTPProfileIdentifier	1: 58	1: 1205	1: 58	1: 1205	1: 58	1: 1205	1: 58	1: 1205	1: 58	1: 1205	1: 58
Dep	07:51:00	08:53:00	09:51:00	11:23:00	12:21:00	13:23:00	14:21:00	15:53:00	16:51:00	17:53:00	18:51:00
Arr	08:39:32	09:41:34	10:39:32	12:11:34	13:09:32	14:11:34	15:09:32	16:41:34	17:39:32	18:41:34	19:39:32
ToTPProfileIdentifier	26: 1205	31: 58	26: 1205	31: 58	26: 1205	31: 58	26: 1205	31: 58	26: 1205	31: 58	26: 1205
PrePrepTime	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min
PostPrepTime	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min	0min
DistinctIncomingPass											
ObjNo	Obj	Obj	Obj	Obj	Obj	Obj	Obj	Obj	Obj	Obj	Obj
58											
61											
57											
60											
55											
59											
54											
53											
52											
51											
50											
730											

Рисунок 3.6 – Приклад введення розкладу руху тролейбусів на тролейбусному маршруті № 3

Вихідною інформацією для моделювання ММ ГТ є перелік усіх маршрутів з розкладами руху автобусів та визначенням трас і ЗП, що обслуговуються кожним маршрутом. Поточна ММ ГТ м. Луцьк включає:

- 9 тролейбусних маршрутів;
- 22 автобусних маршрути.

Кожен із маршрутів, окрім кільцевих, має прямий та зворотний напрямок.

Їх характеристика наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Загальна характеристика маршрутів ГТ міста Луцьк

Маршрут	Назва	Тип ТЗ (марка та/або модель)	Пасажиро- місткість ТЗ, пас.	Довжина оберту на маршруті, км	Час оберту, хв
Тролейбусні маршрути					
1	2	3	4	5	6
1	ЛПЗ – КРЗ – ЛПЗ	категорія МЗ, клас І (МВ О405NE)	102	21,5	75
2	ЛПЗ – РКЗ – ЛПЗ	категорія МЗ, клас І (Trolza, 3iY)	90-100	21,7	76
3	Лісництво – с. Гараджя (кладовище)	категорія МЗ, клас І (Jelcz)	74	27,8	97
4	Залізничний вокзал – Вересневе	категорія МЗ, клас І (ЛАЗ, Богдан, Jelcz)	74-100	21,9	76
4-А	Залізничний вокзал – Вересневе	категорія МЗ, клас І (Jelcz)	74	22,7	79
5	Цегельний завод – КРЗ	категорія МЗ, клас І (Trolza)	90	21,8	76
12	Володимирська – КРЗ	категорія МЗ, клас І (Trolza)	90	23,7	82
15	ЦУМ – пр. Молоді – ЦУМ	категорія МЗ, клас І (Jelcz)	74	10,4	36
15-А	ЦУМ – пр. Молоді – ЦУМ	категорія МЗ, клас І (Jelcz)	74	10,5	37

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Автобусні маршрути					
1	Завод «Мотор» – Надрічна (цегельний завод)	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ)	40-43	26,5	78
2	Залізничний вокзал – Конякіна	категорія МЗ, клас І (Богдан, ЗАЗ, БАЗ, I-VAN)	41-43	24,5	73
3	Гараджя (кладовище) – Госпіталь	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ, I-VAN)	41-43	34,9	104
6	Залізничний вокзал – с. Брище	категорія МЗ, клас І (Богдан)	43	39,5	168
9	Вересневе – Теремнівська	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ)	41-43	34,3	101
10	Шота Руставелі – Карбишева (Академія рекреаційних технологій)	категорія МЗ, клас І (Богдан)	43	26,6	78
11	Шота Руставелі – Карбишева (Академія рекреаційних технологій)	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ, I-VAN)	41-43	24,2	71
12	Єршова – Окружна	категорія МЗ, клас І (Богдан, ЗАЗ, БАЗ, I-VAN)	41-43	37,2	109
19	Окружна – с. Сапогове	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ, I-VAN)	41-43	49,5	147

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
22	Карбишева – с. Княгининок	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ, I-VAN, ПАЗ)	41-43	28,5	85
22-А	Карбишева – с. Княгининок (Кам'янка)	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ, I-VAN, ПАЗ)	41-43	37,2	111
24	Вересневе – Єршова	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ, I-VAN)	41-43	34,9	103
25	Карбишева – Володимирська	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ)	41-43	26,2	77
26	Рівненська – Вишків	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ)	41-43	20,2	59
26-А	Центральний ринок – Вишків	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ)	41-43	10,3	31
27	Окружна – Ківерцівська	категорія МЗ, клас І (Богдан, ПАЗ)	41-50	26,2	77
27-А	Окружна – Гордіюк (кільце)	категорія МЗ, клас І (Богдан, ПАЗ)	41-50	27,4	85

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
28	Карбишева – Дружби Народів	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ, I-VAN)	41-43	24,4	72
29	Карбишева – с. Великий Омеляник	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ)	41-43	26,0	76
30	с. Богушівка — Карбишева	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ, I-VAN)	41-43	31,8	95
31	ТЦ «Слон» – с.Боголюб (філія обллікарні)	категорія МЗ, клас І (Богдан)	43	32,5	97
32	Вересневе– с. Липини	категорія МЗ, клас І (Богдан, БАЗ, I-VAN)	41-43	33,7	98

За підсумками моделювання транспортної пропозиції у VISUM були отримані ММ:

- тролейбусних маршрутів, рисунок 3.7;
- автобусних маршрутів, рисунок 3.8.

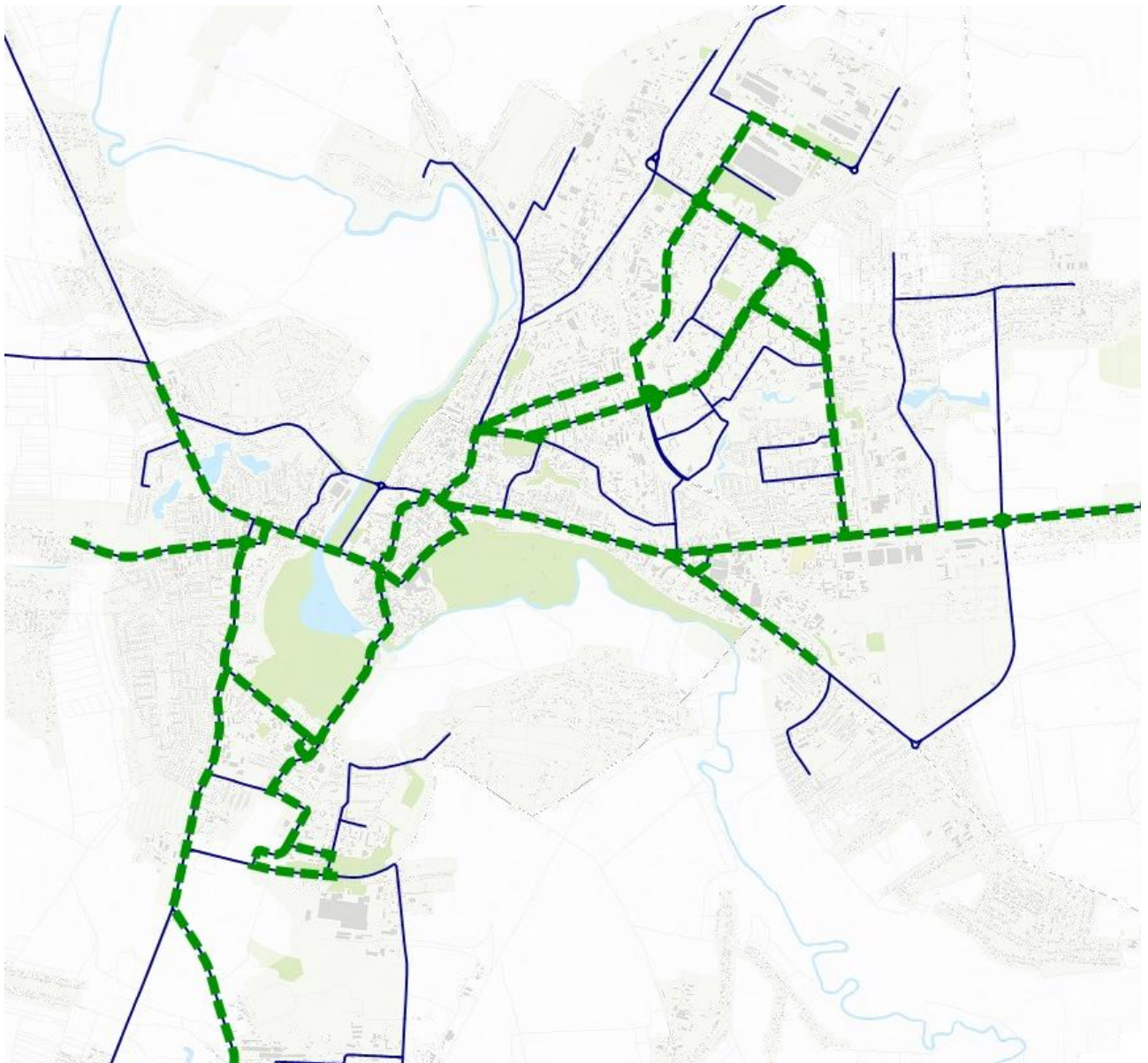


Рисунок 3.7 – Мережа тролейбусних маршрутів м. Луцьк

Сформована модель ММ ГТ м. Луцьк дозволяє здійснювати транспортні розрахунки, що стосуються пропозиції громадського транспорту, з достатньо високим рівнем точності.

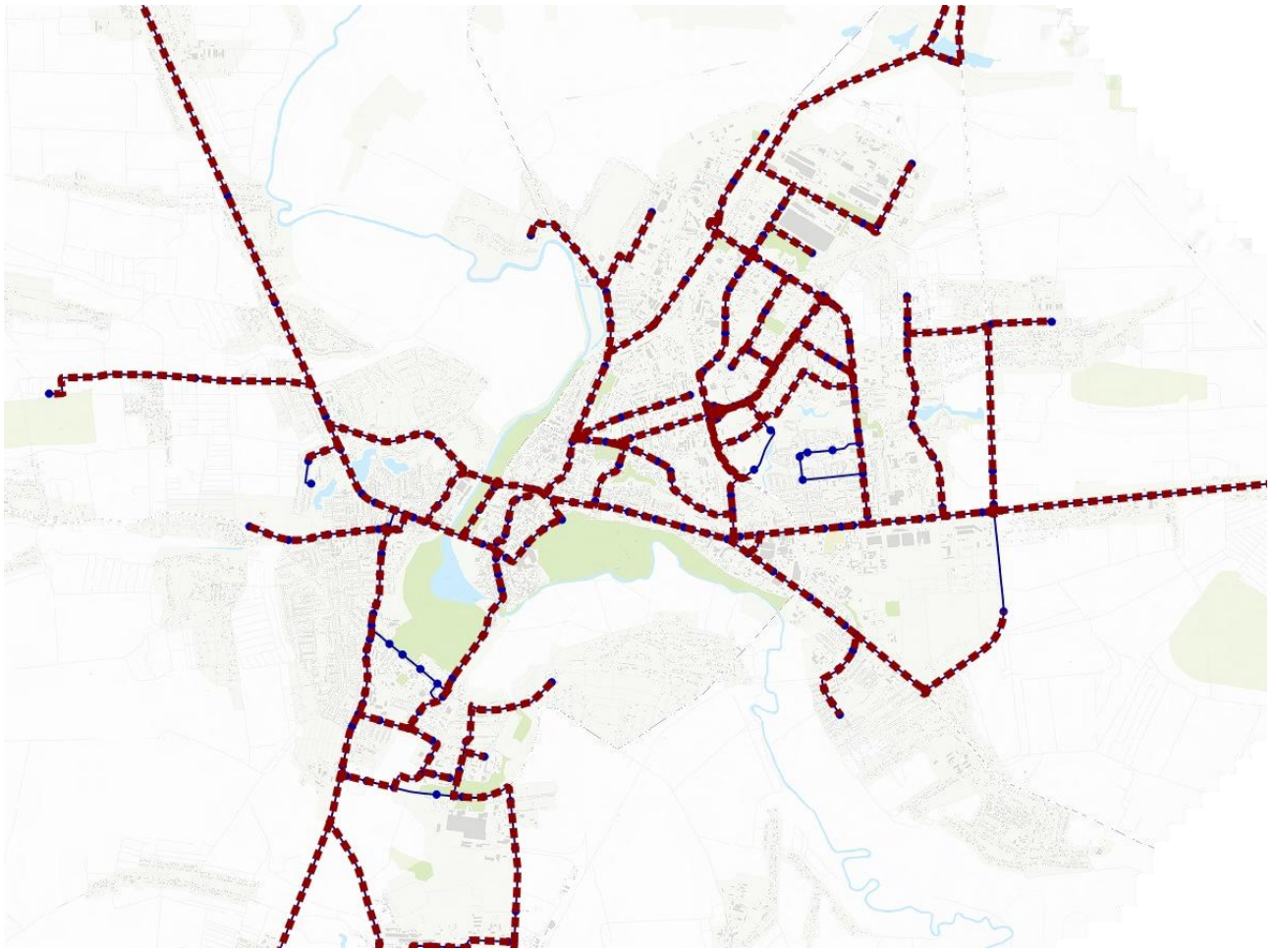


Рисунок 3.8 – Мережа автобусних маршрутів м. Луцьк

### 3.2 Розробка моделі попиту на пересування міським громадським транспортом

Модель попиту на пересування ГТ є необхідною складовою транспортної моделі міста, яка є дуже корисним інструментом кількісної оцінки багатьох рішень у міському транспортному плануванні. Побудова моделі попиту на пересування є найскладнішим етапом транспортного моделювання, і результатом його виконання є матриця пасажирських кореспонденцій (МПК), яка в рамках даної буде відноситися до робочого дня тижня. Отримати надійну МПК можна, якщо використати у розрахунках фактичні дані, отримання яких можливе в результаті проведення обстежень пасажиропотоків на міських маршрутах ГТ.

Для отримання МПК у даній ДР за основу буде взята матриця, розрахована під час виконання науково-дослідної роботи за договором від 09.10.2017 р. № 77-09-17/974 «Розробка комплексної схеми руху транспорту м. Луцька», таблиця 3.2 [24]. Зазначена матриця була сформована на основі результатів табличного обстеження пасажиропотоків на всіх маршрутах ГТ міста. У даній роботі її можна актуалізувати (оновити і привести до сучасних умов), спираючись на динаміку зміни чисельності населення у м. Луцьку протягом 2009-2022 років [25], рисунок 3.9.

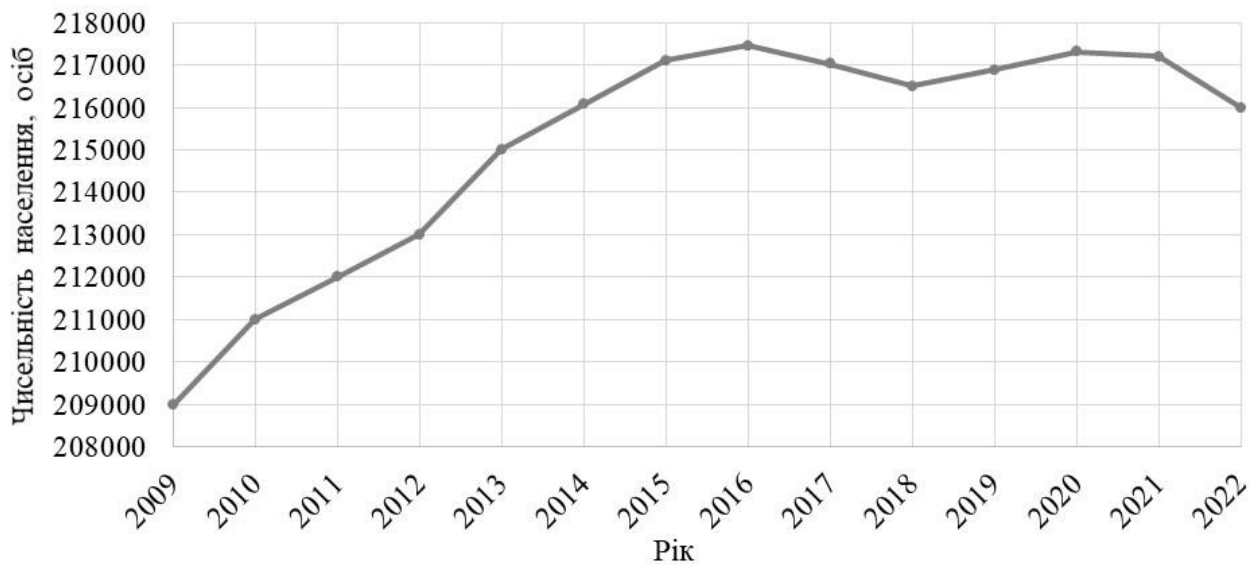


Рисунок 3.9 – Динаміка зміни чисельності населення м. Луцьк у період 2009-2022 р.р.

Дана динаміка дозволила побудувати регресійну модель для прогнозування чисельності населення міста Луцьк на 2024 рік, яка виглядає як

$$Q = 401032,7605769 \cdot q_n - 99,3537088 \cdot q_n^2 - 404466168,749456, \quad (3.1)$$

де  $Q$  – прогнозна чисельність населення у місті Луцьк, осіб;

$q_n$  – чисельність населення у місті у  $n$ -му звітному році, осіб.

Таблиця 3.2 – Середньодобова матриця пасажирських кореспонденцій на ГТ міста Луцьк, пас.

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	4	0	0	0	2	1	27	6	0	2	2	11	9	24	62	25	10	16	12	48	4	0	8	11	20	27	14	26	38
2	1	0	0	4	0	5	3	91	30	0	12	64	35	43	115	229	82	34	40	36	205	92	35	19	55	65	87	45	79	151
3	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	3	8	4	0	1	1	2	0	0	0	0	3	3	0	2	5
4	0	4	0	0	0	0	0	30	4	0	1	2	2	8	22	57	3	1	2	3	45	4	14	6	11	20	24	13	22	35
5	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	2	2	5	13	2	1	1	2	8	0	3	6	2	18	7	9	6	8
6	0	6	0	0	0	0	0	63	12	0	3	4	16	3	98	215	44	21	27	21	92	6	22	14	33	57	15	10	5	4
7	0	3	0	1	0	1	0	23	5	0	1	2	10	13	35	65	10	3	227	116	57	1	2	39	13	25	32	25	47	67
8	3	74	4	25	6	42	36	0	158	2	28	44	263	422	1252	4660	1063	883	688	582	1334	71	80	451	683	836	1017	273	629	1245
9	0	20	0	2	0	4	3	124	0	0	7	12	35	51	158	340	90	40	54	44	239	23	17	25	89	140	196	55	151	260
10	0	10	0	0	0	0	0	7	3	0	1	8	3	4	9	19	7	4	3	3	21	14	3	1	5	7	7	4	6	14
11	0	17	0	1	0	2	2	44	16	0	0	9	16	19	56	114	37	14	20	15	110	106	13	8	28	35	42	20	38	75
12	0	51	0	1	0	2	1	35	12	0	17	0	15	19	51	97	40	15	20	13	98	47	11	7	24	30	39	18	33	71
13	3	36	0	2	1	12	9	282	67	0	13	5	0	105	184	580	58	15	31	51	61	7	169	90	139	249	210	150	193	369
14	1	30	0	6	2	10	10	430	58	0	11	21	72	0	726	1596	227	107	159	153	554	43	25	101	198	311	493	121	286	613
15	2	67	1	16	4	52	25	897	147	2	26	41	147	682	0	3770	457	234	270	253	757	70	54	185	774	1038	2245	322	1012	2070
16	7	166	6	42	8	126	63	4113	379	4	64	102	427	1542	4537	0	1449	849	893	927	2881	171	259	1028	2606	2363	2828	720	1620	3236
17	11	114	4	12	3	136	48	1305	137	4	27	42	187	275	706	1997	0	305	353	515	1088	68	1228	776	353	565	706	203	466	989
18	1	28	0	3	1	39	5	680	41	0	9	12	36	94	241	756	215	0	169	501	358	20	79	364	123	183	226	59	139	309
19	270	58	0	2	0	18	21	712	72	0	4	16	22	166	385	1063	82	54	0	140	633	57	221	160	181	296	393	169	364	533
20	1	23	0	7	1	10	27	541	45	0	13	18	87	192	306	993	276	309	328	0	518	52	185	244	183	275	286	113	247	391
21	4	251	2	22	5	42	104	749	171	8	110	154	263	343	1360	2016	659	268	330	263	0	360	276	143	537	949	1592	636	1075	4081
22	0	76	0	2	0	6	2	57	22	2	54	41	33	79	94	196	58	24	97	77	215	0	35	19	65	236	71	117	62	144
23	0	27	0	10	2	8	10	243	30	0	13	19	48	64	172	678	269	137	215	252	432	34	0	150	157	239	162	58	172	230
24	1	17	0	7	1	10	9	496	35	0	8	10	65	122	280	1276	193	132	167	295	300	19	39	0	148	188	228	83	196	288
25	1	67	0	7	1	17	10	535	84	1	14	21	72	179	861	2393	229	121	133	131	748	60	119	104	0	772	511	147	299	620
26	3	150	0	17	4	31	25	831	173	4	44	53	167	363	1419	2724	487	233	283	254	1777	149	247	164	1007	0	1148	309	856	1272
27	3	62	0	22	5	15	24	905	243	2	25	36	214	458	2939	2899	605	282	347	296	933	67	69	182	560	990	0	549	1845	4519
28	3	56	0	14	4	14	31	326	32	1	22	34	178	128	403	997	116	47	253	196	599	37	41	101	195	221	892	0	1804	2088
29	7	111	0	36	8	24	85	385	193	3	43	67	380	216	884	1110	286	128	604	519	1075	80	92	270	251	492	1114	2449	0	4857
30	6	120	4	34	9	17	52	1095	329	3	51	73	332	444	2647	3294	895	401	443	373	2707	150	118	224	419	506	6033	1386	2846	0

Наведена залежність має доволі переконливі статистичні характеристики, які зведені до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Статистичні характеристики регресійної моделі прогнозування чисельності населення міста Луцьк

Показник моделі	Значення
Множинний коефіцієнт кореляції $R$	0,9847896
$R$ -квадрат	0,9698107
Нормований $R$ -квадрат	0,9643217
Стандартна помилка	517,3626333
Кількість спостережень	14
Інформаційна здатність моделі	$4,357 \cdot 10^{-9}$

Відтворення регресійною моделлю (3.1) ретроспективних даних про чисельність населення м. Луцьк наведено на рисунку 3.10.

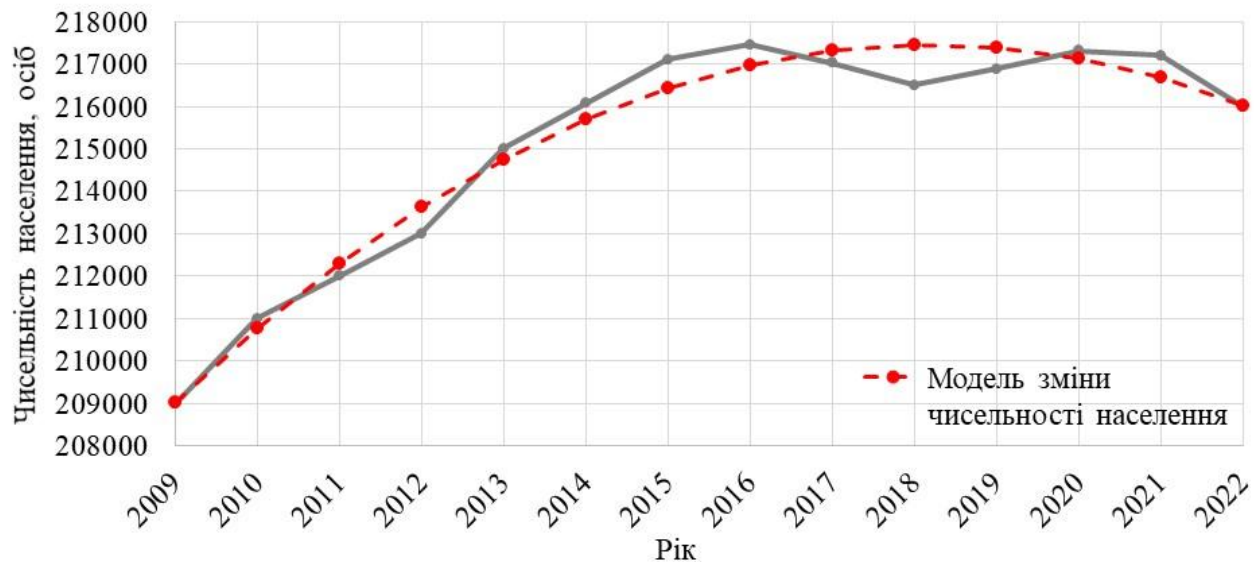


Рисунок 3.10 – Результати відтворення регресійною моделлю фактичної інформації про чисельність населення м. Луцьк

Результати оцінки точності моделі (3.1) наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Оцінка точності регресійної моделі прогнозування чисельності населення м. Луцьк

Рік	Фактична (звітна) чисельність населення міста, осіб	Розрахункова чисельність населення міста, осіб	Відносна похибка апроксимації, %
2009	209000	209031	0,01
2010	211000	210761	0,11
2011	212000	212293	0,14
2012	213000	213625	0,29
2013	215000	214759	0,11
2014	216076	215695	0,18
2015	217103	216432	0,31
2016	217450	216969	0,22
2017	217033	217309	0,13
2018	216505	217449	0,44
2019	216887	217391	0,23
2020	217315	217134	0,08
2021	217197	216679	0,24
2022	215986	216024	0,02
Середнє	215111	215111	0,18

Дані вищенаведеної таблиці вказують на повну придатність використання моделі (3.1) для прогнозування чисельності населення м. Луцьк станом на 2024 рік. Відповідно до такого прогнозу вона складе 214120 осіб, рисунок 3.11.

Це свідчить про те, що з 2017 року (року проведення обстеження пасажиропотоків) у місті сталося зменшення чисельності населення на 1,34 %, тобто залишилось 98,66 % від населення 2017 року.

За умови відсутності результатів сучасних обстежень пересувань городян на ГТ отримані з використанням регресійної моделі (3.1) результати прогнозу чисельності населення можна використовувати для екстраполяції МПК, котра відбивала пересування жителів м. Луцьк у 2017 році. Для цього можна

скористатися методом єдиного коефіцієнта росту, котрий полягає у множенні кожної кореспонденції у МПК 2017 року на коефіцієнт 0,9866.

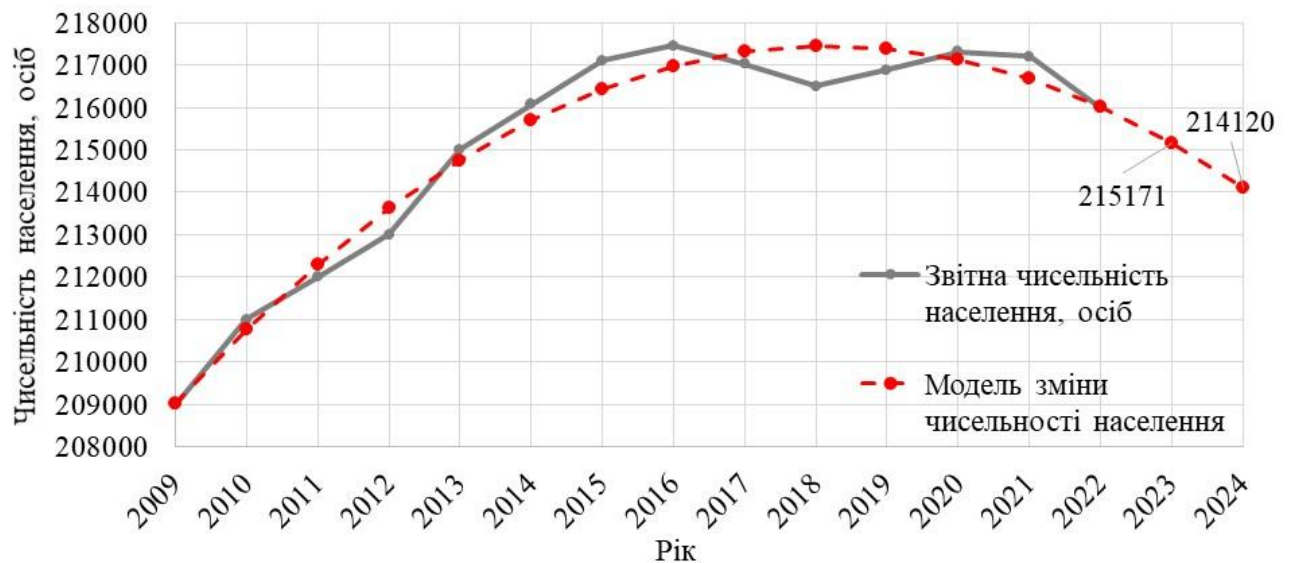


Рисунок 3.11 – Результати прогнозування чисельності населення м. Луцьк на 2024 рік

З урахуванням отриманих результатів прогнозування чисельності населення, формула для екстраполяції МПК на 2024 рік набуде вигляду

$$H_{ij} = 0,9866 \cdot h_{ij}, \quad (3.2)$$

де  $h_{ij}$  – значення кореспонденції між ТР  $i$  та  $j$  станом на 2017 рік;

0,9866 – коефіцієнт зменшення чисельності населення м. Луцьк по відношенню до 2017 року.

Результати розрахунків за формулою (3.2) представлені у таблиці 3.5.

Даний розрахунок дозволяє оновити модель МПК у складі транспортної моделі ГТ м. Луцьк, а отримані таким чином результати дозволяють зробити висновок про придатність розробленої транспортної моделі міста оцінки показників обслуговування населення міста громадським транспортом і рівня транспортної доступності міських об'єктів масового відвідування.

Таблиця 3.5 – Прогнозна на 2024 рік середньодобова матриця пасажирських кореспонденцій на ГТ міста Луцьк,

пас.

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	4	0	0	0	2	1	27	6	0	2	2	11	9	24	61	25	10	16	12	47	4	0	8	11	20	27	13	25	37
2	0	0	0	4	0	5	3	90	30	0	12	63	34	43	114	226	81	33	39	36	202	91	35	18	54	64	86	44	78	149
3	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	3	8	3	0	1	1	2	0	0	0	0	3	3	0	2	5
4	0	4	0	0	0	0	0	29	4	0	1	2	2	8	22	56	3	1	2	3	44	3	14	6	11	19	24	12	21	35
5	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	2	2	5	13	2	1	1	2	8	0	3	6	2	18	7	9	6	8
6	0	6	0	0	0	0	0	63	12	0	2	4	16	3	96	212	43	21	26	20	91	6	22	14	33	56	15	10	5	4
7	0	3	0	1	0	1	0	23	5	0	1	2	10	12	35	64	10	3	224	115	56	1	2	39	13	24	31	25	46	66
8	3	73	4	25	6	42	35	0	156	2	28	44	259	416	1235	4598	1048	871	679	575	1316	70	79	445	674	825	1003	270	621	1228
9	0	20	0	2	0	3	3	123	0	0	7	12	35	50	156	335	89	40	53	43	236	22	17	24	87	138	194	54	149	256
10	0	10	0	0	0	0	0	7	3	0	1	8	3	4	9	19	7	4	3	3	20	13	3	1	5	7	7	3	6	14
11	0	17	0	1	0	2	2	44	16	0	0	8	15	19	55	112	36	14	20	14	108	105	12	8	27	34	42	20	37	74
12	0	51	0	1	0	2	1	34	12	0	17	0	15	18	50	96	39	15	19	13	97	46	11	7	24	30	38	17	33	70
13	3	36	0	2	1	11	8	279	66	0	12	5	0	104	182	572	57	15	31	50	60	6	166	89	137	245	208	148	190	364
14	1	30	0	6	2	9	10	424	58	0	11	21	71	0	717	1575	224	106	157	151	546	42	25	99	195	307	486	120	283	605
15	2	66	1	16	3	51	25	885	145	2	26	40	145	672	0	3720	451	231	266	249	747	69	53	182	764	1024	2215	318	998	2042
16	7	164	6	42	8	125	62	4058	374	4	64	101	422	1521	4476	0	1429	837	881	914	2843	169	256	1014	2571	2332	2790	711	1598	3192
17	11	113	3	12	2	134	48	1287	135	4	27	42	185	271	696	1970	0	301	348	508	1073	67	1212	766	348	557	696	200	460	975
18	1	27	0	3	1	39	5	671	41	0	9	12	35	93	238	746	212	0	166	495	353	20	78	359	122	181	223	58	138	305
19	266	57	0	2	0	17	20	703	71	0	4	16	22	164	380	1049	81	53	0	138	624	56	218	158	179	292	388	167	359	526
20	1	22	0	7	1	10	26	534	44	0	13	18	86	190	302	980	272	305	323	0	511	51	182	241	181	272	282	112	244	386
21	4	248	2	22	5	42	102	739	168	8	108	152	259	339	1341	1989	650	265	325	260	0	356	272	141	530	936	1571	628	1061	4026
22	0	75	0	2	0	6	2	56	22	2	53	41	33	78	93	194	58	24	95	76	212	0	34	19	64	233	70	116	61	142
23	0	27	0	9	2	8	10	240	30	0	12	19	48	63	170	669	266	135	212	249	426	34	0	148	155	236	160	57	170	227
24	1	17	0	7	1	10	9	489	35	0	8	10	64	120	277	1259	191	130	165	291	296	19	38	0	146	185	225	82	194	284
25	1	66	0	6	1	17	10	528	83	1	14	21	71	177	850	2361	226	120	132	129	738	59	117	103	0	762	504	145	295	611
26	3	148	0	16	4	31	24	820	171	4	43	53	164	358	1400	2688	481	230	279	251	1753	147	244	162	993	0	1133	304	844	1255
27	3	61	0	22	5	15	24	893	240	2	24	36	212	452	2900	2860	597	278	342	292	920	66	68	179	553	976	0	542	1821	4458
28	3	55	0	14	4	13	30	322	32	1	22	33	176	126	398	984	114	47	250	194	591	36	40	100	192	218	880	0	1780	2060
29	7	109	0	35	8	24	84	380	191	3	43	66	375	213	872	1095	282	126	596	512	1061	79	91	267	248	486	1099	2416	0	4792
30	5	119	4	34	9	17	51	1081	325	3	50	72	327	438	2611	3250	883	396	437	368	2670	148	116	221	414	499	5953	1367	2808	0

### 3.3 Висновки по розділу

1. Сформована модель ММ ГТ м. Луцьк дозволяє здійснювати розрахунки, що стосуються пропозиції громадського транспорту, з достатньо високим рівнем точності.

2. МПК на ГТ м. Луцьк, отримана шляхом екстраполяції ретроспективних даних, виконаної на основі прогнозої на 2024 рік чисельності населення міста, робить розроблену транспортну модель міста придатною для оцінки показників обслуговування населення міста громадським транспортом і рівня транспортної доступності міських об'єктів масового відвідування.

## 4 ОЦІНКА ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ НАЙБІЛЬШИХ МІСЦЬ ТЯЖІННЯ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА ЛУЦЬК

### 4.1 Оцінка транспортної доступності центральної частини міста

Під доступністю ММ ГТ розуміється її стан, що визначається комплексом показників та характеризується ступенем важкості користування ГТ. Отримання показників доступності ММ міста Луцьк стало можливим завдяки розробленій транспортній моделі громадського транспорту у програмі VISUM.

З метою оцінки діючої в теперішній час ММ міста були обрані наступні показники [26]:

- а) загальна кількість маршрутів ГТ, у т.ч.:
  - 1) кількість тролейбусних маршрутів;
  - 2) кількість автобусних маршрутів;
- б) загальний добовий пробіг на маршрутах ГТ, в т.ч.:
  - 1) пробіг на тролейбусних маршрутах;
  - 2) пробіг на автобусних маршрутах;
- в) середній час пересування пасажирів;
- г) середня відстань пересування пасажирів;
- д) частка пересувань з пересадками.

Даний перелік достатньо повно характеризує ММ і якість перевезень пасажирів ГТ. Показники якості обслуговування населення (пересування пасажирів) будуть розраховані для середньостатистичного робочого (буднього) дня.

Для розрахунку перелічених показників, необхідних для оцінки транспортної доступності центральної частини міста, у програмі VISUM була виконана розрахункова процедура перерозподілу.

Перерозподіл – це один з основних методів аналізу транспортної пропозиції. Перерозподіл допомагає розраховувати навантаження на об'єкти мережі і параметри для оцінки якості транспортного обслуговування

пасажирів [26]. Для розрахунку перерозподілу моделюються пасажирські поїздки, під час яких користувач ГТ обирає зручний для нього маршрут або комбінацію маршрутів, якщо поїздка здійснюється з пересадкою. Сформовані сполучення несуть необхідну інформацію для розрахунку таких параметрів, як час або відстань пересування.

VISUM пропонує різні процедури перерозподілу для ГТ. Результатом перерозподілу є навантаження на використовувані об'єкти мережі:

- вузли;
- відрізки;
- зупинки;
- маршрути, тощо.

Крім того, VISUM може зберігати всі маршрути і сполучення для подальшого аналізу, наприклад, для розрахунку і відображення транспортних «павуків» [26].

В даній ДР використовується процедура перерозподілу за інтервалом, тобто вважається, що пасажир не має чіткого уявлення про час відправлення від зупинок ТЗ тих маршрутів, що йому підходять. В даній процедурі кожен маршрут описується:

- трасою маршруту;
- часом руху між зупинками;
- значенням інтервалу руху ТЗ.

Врахування часу очікування пересадки відбувається узагальнено, тобто початковий час очікування і час очікування при пересадці приймаються рівними половині інтервалу руху ТЗ на маршруті. Перерозподіл по інтервалу має три робочих кроки:

- визначення інтервалу;
- пошук і вибір шляху пересування – виконується пошук можливих шляхів між двома ТР;
- навантаження шляху – знайдені шляхи навантажуються поїздками з матриці кореспонденцій і зберігаються.

Після перерозподілу були розраховані матриці параметрів:

- матриця відстаней пересувань;
- матриця часу пересувань;
- матриця кількості пересадок та ін.

Вони є необхідними для розрахунку перелічених на початку підрозділу показників [26]. За підсумками виконання процедури перерозподілу можна оцінити і транспортну доступність різних об'єктів тяжіння у місті. Результати розрахунку показників роботи діючої ММ наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка діючої маршрутної мережі ГТ м. Луцьк

Показник	Розрахункове значення показника
Кількість маршрутів, од., в т.ч.: - тролейбусних - автобусних	31 9 22
Загальний добовий пробіг на маршрутах, км, в т.ч.: - на тролейбусних маршрутах - на автобусних маршрутах	65396 8373 57023
Середній час пересування пасажирів громадським транспортом, хв.	28,07
Середня відстань пересування громадським транспортом, км	3,578
Частка пересувань з пересадками	1,009

Картограма добових пасажиропотоків на ГТ наведена на рисунку 4.1.

Базуючись на результатах виконаних розрахунків, за допомогою інструментів «Isochrones time PuT» та «Isochrones number of transfers PuT» була оцінена транспортна доступність загальноміського центру.

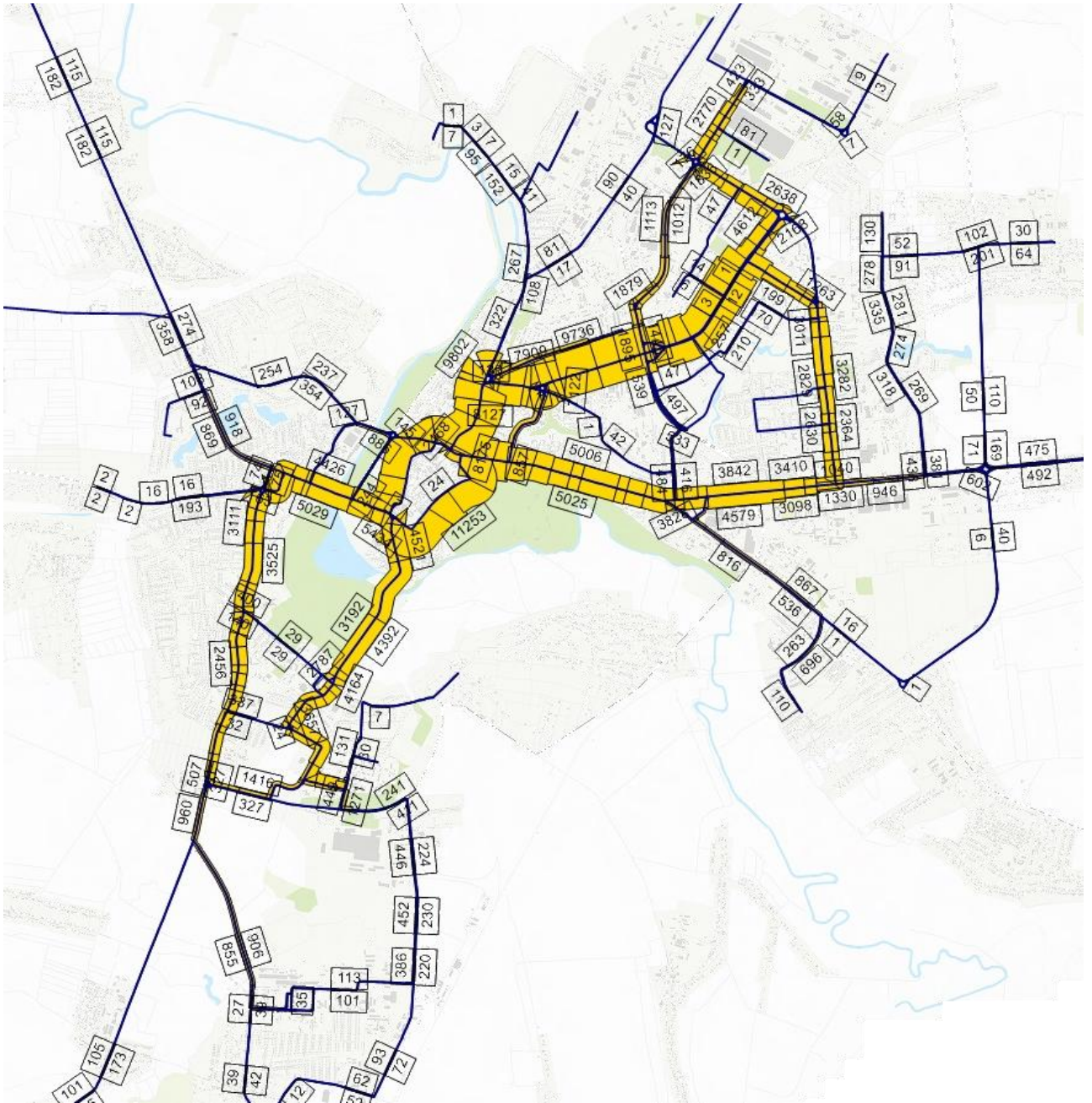


Рисунок 4.1 – Епюри середньодобових для буднього дня пасажиропотоків на громадському транспорті

Її графічне представлення наведено на рисунках 4.2 і 4.3.

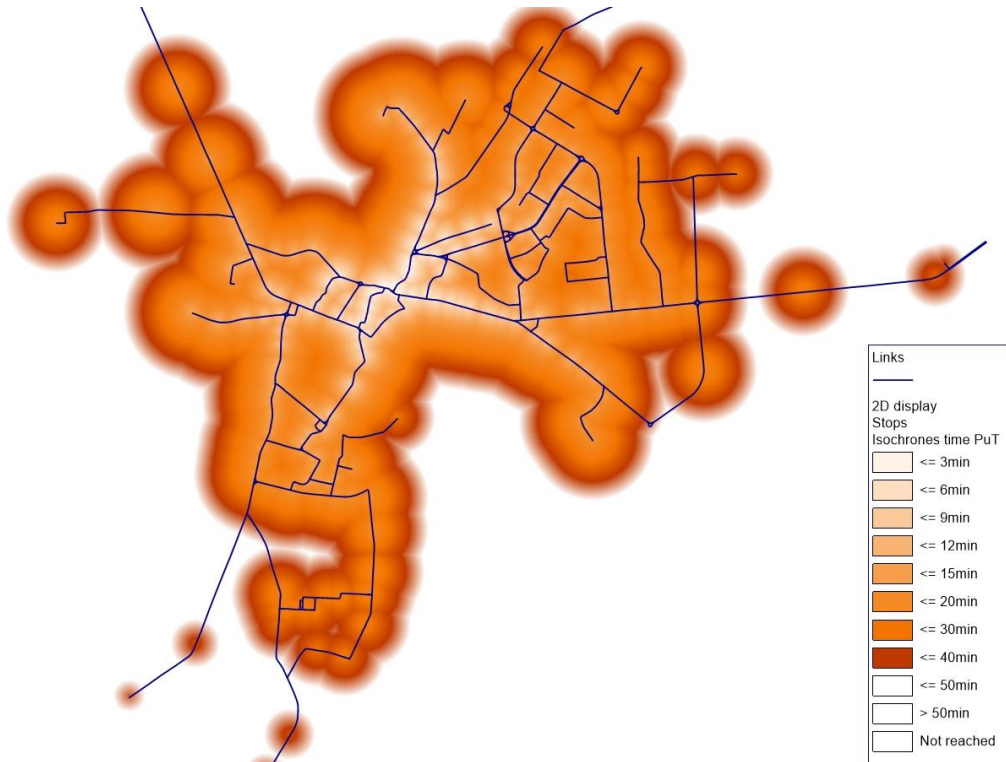


Рисунок 4.2 – Ізохрони часу пересування до загальноміського центру

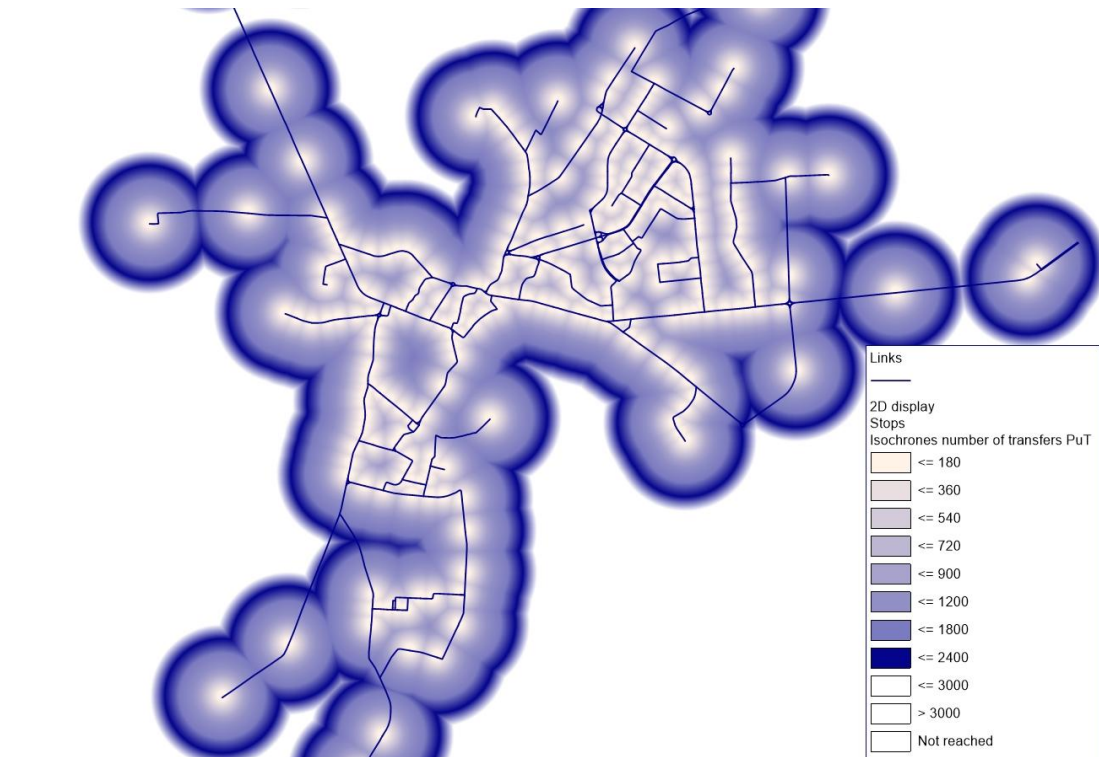


Рисунок 4.3 – Ізохрони кількості пересадок при пересуваннях до загальноміського центру

Як видно з наведених рисунків, транспортна доступність загальноміського центру є найкращою для тих пасажирів, які користуються зупинками вздовж магістральних вулиць міста. Особливо яскраво це видно по рисунку 4.3, який відбиває потребу у пересадках при користуванні тими чи іншими зупинками для відправлень до центральної частини міста.

При цьому варто звернути увагу на рівномірність транспортного забезпечення території міста послугами ГТ, адже на наведених рисунках складно чітко виділити міські райони з найкращим або найгіршим транспортним сполученням. Отримані графічні матеріали вказують на закономірне та зрозуміле зменшення транспортної доступності центру міста по мірі віддалення міських територій від нього.

#### 4.2 Оцінка транспортної доступності інших об'єктів масового відвідування у місті

Окрім транспортної доступності центральної частини міста також була оцінена доступність таких об'єктів масового тяжіння, як:

- залізничний вокзал і Волинська обласна клінічна лікарня;
- Луцька міська клінічна лікарня і Парк ім. 900-річчя міста Луцька;
- автовокзал;
- торгівельний центр «Там-Там»;
- міський ринок (район «Старе місто»);
- Центральний парк культури і відпочинку ім. Лесі Українки;
- Луцька картонно-паперова фабрика;
- Луцький національний технічний університет.

Графічне представлення ізохрон часу проїзду громадським транспортом до цих об'єктів з інших районів міста наведено на рисунках 4.4-4.11.

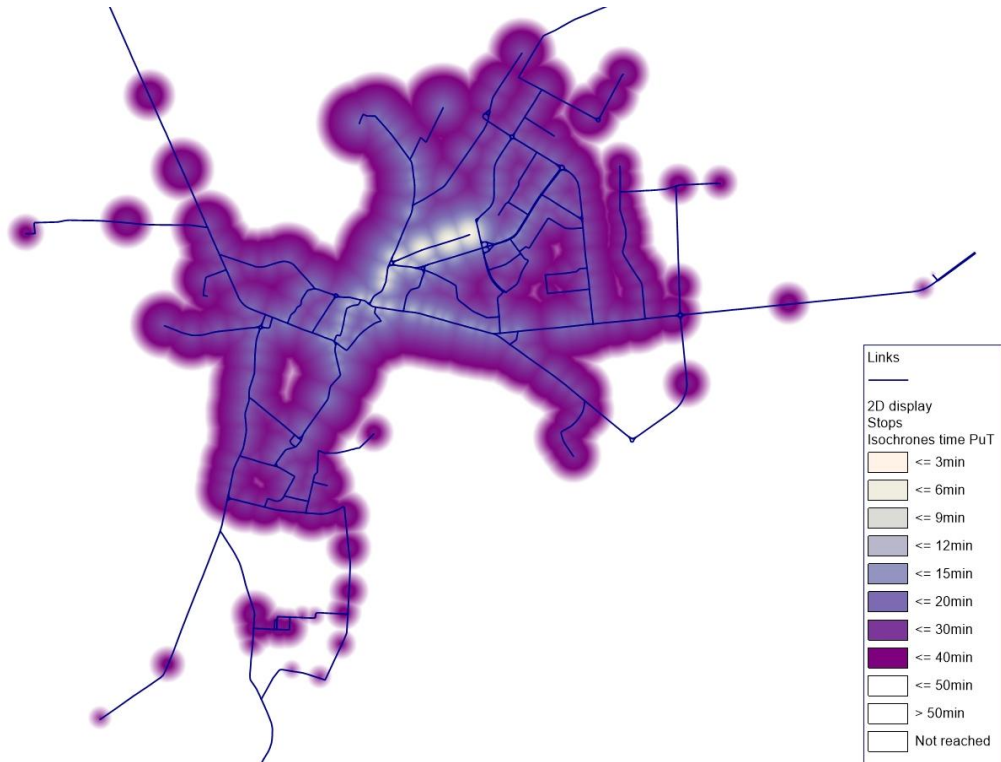


Рисунок 4.4 – Ізохрони часу пересування до залізничного вокзалу і Волинської обласної клінічної лікарні з інших районів міста



Рисунок 4.5 – Ізохрони часу пересування до Луцької міської клінічної лікарні і Парку ім. 900-річчя м. Луцька з інших районів

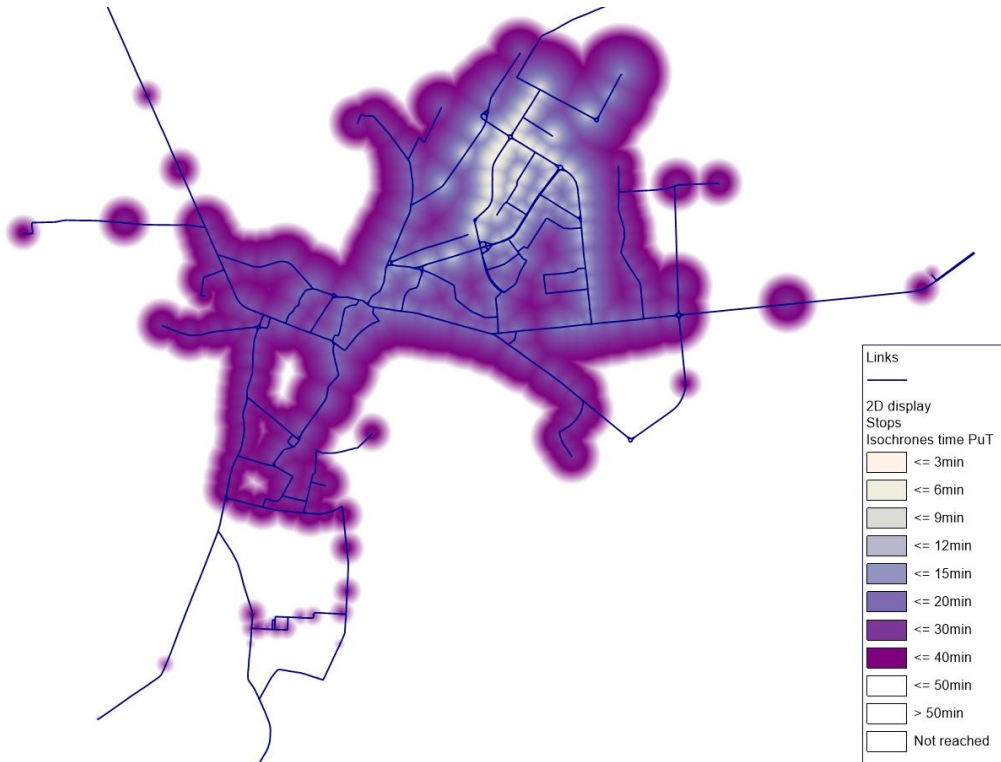


Рисунок 4.6 – Ізохрони часу пересування до автовокзалу з інших районів міста



Рисунок 4.7 – Ізохрони часу пересування до торговельного центру «Там-Там» з інших районів міста



Рисунок 4.8 – Ізохрони часу пересування до міського ринку (району «Старе місто») з інших районів міста



Рисунок 4.9 – Ізохрони часу пересування до Центрального парку культури і відпочинку ім. Лесі Українки з інших районів міста

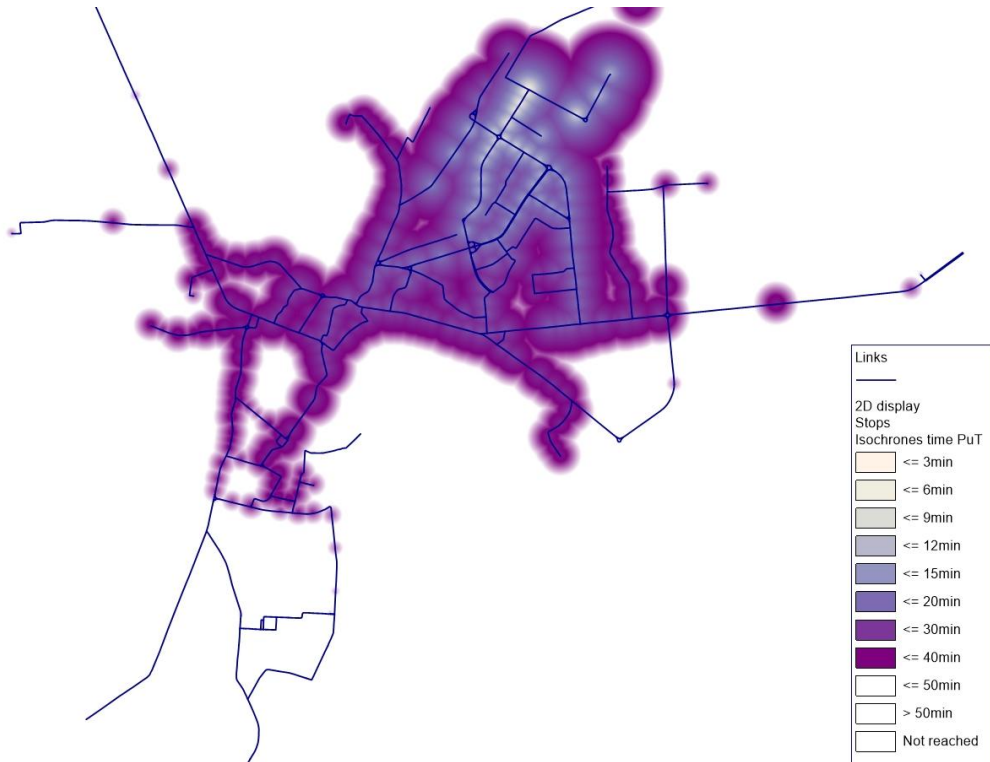


Рисунок 4.10 – Ізохрони часу пересування до Луцької картонно-паперової фабрики з інших районів міста

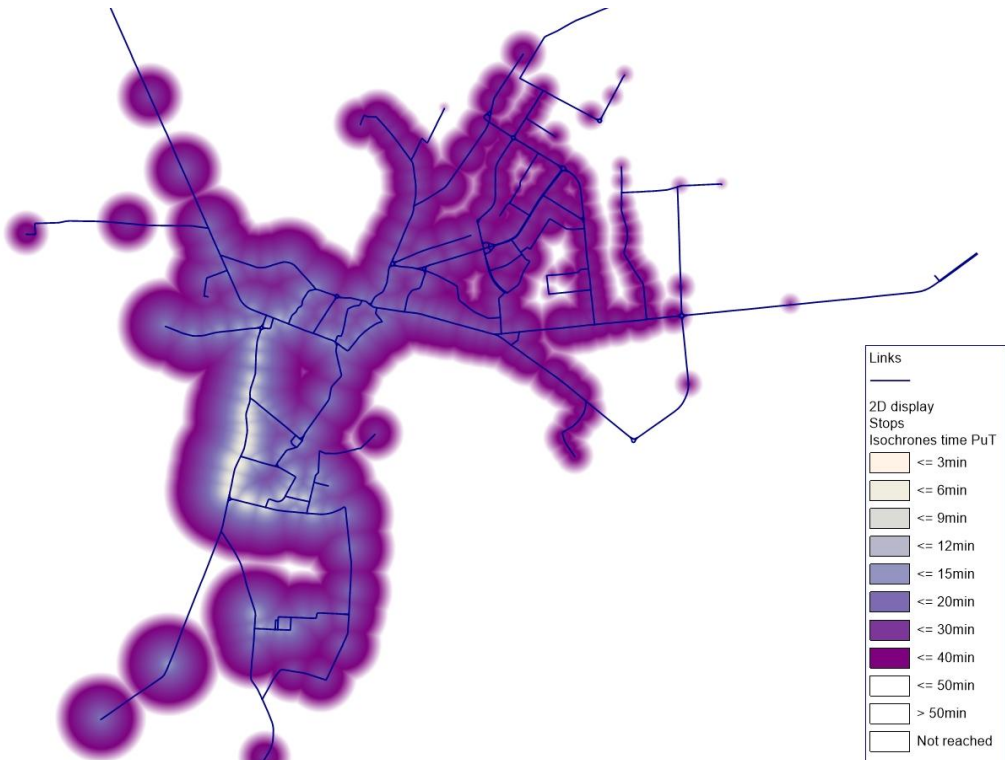


Рисунок 4.11 – Ізохрони часу пересування до Луцького національного технічного університету з інших районів міста

Наведені ізохрони дають достатньо повне розуміння ситуації із добиранням громадським транспортом до найбільших центрів транспортного тяжіння у м. Луцьк.

#### 4.3 Висновки по четвертому розділу

1. Виконані з використанням транспортної моделі ГТ м. Луцька розрахунки вказують на те, що транспортна доступність загальноміського центру є найкращою для тих пасажирів, які користуються зупинками вздовж магістральних вулиць міста. Особливо яскраво це проявляється при графічному зображенні потреб у пересадках при користуванні тими чи іншими зупинками для відправлень до центральної частини міста.

2. Транспортне забезпечення території міста послугами громадського транспорту є достатньо рівномірне, адже складно чітко ідентифікувати міські райони з найкращим або найгіршим транспортним сполученням. Отримані графічні матеріали вказують на закономірне та зрозуміле зменшення транспортної доступності центру міста по мірі віддалення міських територій від нього.

3. Графічна побудова ізохрон дає достатньо повне розуміння ситуації із добиранням громадським транспортом до найбільших центрів транспортного тяжіння у м. Луцьк.

## ВИСНОВКИ

1. Однією з найбільш розповсюджених оцінок роботи міського ГТ є забезпечення ним транспортної доступності місць тяжіння на території міста. При цьому варто брати до уваги те, що доступність ГТ визначається з огляду на його інфраструктуру, в тому числі конфігурацію ММ та наявний рухомий склад, який працює на маршрутах та має певні швидкісні характеристики.

2. Всім вимогам, що пред'являються до програмного забезпечення, яке повинне дати можливість оцінки транспортної доступності різних міських районів, відповідає програма VISUM – у неї вбудована більшість з популярних на сьогоднішній день методів та моделей виконання кожного етапу транспортного моделювання.

3. В результаті проведеного аналізу ММ м. Луцьк було встановлено, що:

– для ММ ГТ міста, характерна діагональна структура зі слабо вираженими хордовими зв'язками, що приводить до підвищеної концентрації маршрутів ГТ в центральній частині міста та великих витрат часу при пересуваннях між його суміжними околицями. Серед іншого це обумовлено тим, що через місто проходить залізниця та воно розташоване вздовж берегу р. Стир;

– результати аналізу можливості користування послугами ГТ для пільгових категорій населення свідчать про неповне охоплення території міста соціально значущими тролейбусними маршрутами;

– середня довжина перегонів ГТ м. Луцька відповідає нормативним значенням, але велика кількість перегонів з малою довжиною вказує на доцільність перевodu роботи маршрутів ГТ у звичайний режим руху;

– щільність ММ м. Луцьк  $\delta = 3,53$  км/км<sup>2</sup> свідчить про достатньо високу розвиненість мережі ГТ та виконання нормативів з пішохідної доступності ГТ.

4. Розробка точної моделі транспортної пропозиції дозволяє забезпечити високу точність розрахунку показників транспортної доступності міських

територій. Забезпечити надійний прогноз потреб населення у пересуваннях можна на основі фактичних даних. При цьому розрахунок матриці пасажирських кореспонденцій доцільно здійснити по гравітаційній моделі як такої, що набула широкого застосування на практиці.

5. Для оцінки транспортної доступності найбільших об'єктів транспортного тягіння у місті Луцьк доцільно використати функцію побудови ізохрон, яка дозволяє розрахувати їх та створити відповідне графічне відображення транспортної доступності мережевих об'єктів.

6. Сформована модель ММ ГТ м. Луцьк дозволяє здійснювати розрахунки, що стосуються пропозиції громадського транспорту, з достатньо високим рівнем точності.

7. МПК на ГТ м. Луцьк, отримана шляхом екстраполяції ретроспективних даних, виконаної на основі прогнозованої на 2024 рік чисельності населення міста, робить розроблену транспортну модель міста придатною для оцінки показників обслуговування населення міста громадським транспортом і рівня транспортної доступності міських об'єктів масового відвідування.

8. Виконані з використанням транспортної моделі ГТ м. Луцька розрахунки вказують на те, що транспортна доступність загальноміського центру є найкращою для тих пасажирів, які користуються зупинками вздовж магістральних вулиць міста. Особливо яскраво це проявляється при графічному зображенні потреб у пересадках при користуванні тими чи іншими зупинками для відправлень до центральної частини міста.

9. Транспортне забезпечення території міста послугами громадського транспорту є достатньо рівномірне, адже складно чітко ідентифікувати міські райони з найкращим або найгіршим транспортним сполученням. Отримані графічні матеріали вказують на закономірне та зрозуміле зменшення транспортної доступності центру міста по мірі віддалення міських територій від нього.

10. Графічна побудова ізохрон дає достатньо повне розуміння ситуації із добиранням громадським транспортом до найбільших центрів транспортного тяжіння у м. Луцьк.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Carruthers R., Dick M., Saurkar A. Affordability of Public Transport in Developing Countries / Robin Carruthers. *Transport Papers*. 2005. TP-3. 27 P.
2. Про статус ветеранів війни, гаранті їх соціального захисту. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3551-12#Text> (дата звернення: 21.11.2024).
3. Угода про взаємне визнання прав на пільговий проїзд для інвалідів та учасників Великої вітчизняної війни, а також осіб, прирівняних до них. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/997\\_301#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/997_301#Text) (дата звернення: 21.11.2024).
4. Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-12#Text> (дата звернення: 21.11.2024).
5. Про поширення чинності постанови Кабінету Міністрів України від 17 травня 1993 р. № 354. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-94-%D0%BF#Text> (дата звернення: 21.11.2024).
6. Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/875-12#Text> (дата звернення: 21.11.2024).
7. Про безплатний проїзд пенсіонерів на транспорті загального користування. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/354-93-%D0%BF#Text> (дата звернення: 21.11.2024).
8. Про соціальний і правовий захист військовослужбовців та членів їх сімей. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2011-12#Text> (дата звернення: 21.11.2024).
9. Про статус ветеранів військової служби, ветеранів органів внутрішніх

справ, ветеранів Національної поліції і деяких інших осіб та їх соціальний захист. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. / URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/203/98-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 21.11.2024).

10. Про поліпшення виховання, навчання, соціального захисту та матеріального забезпечення дітей-сиріт і дітей, позбавлених батьківського піклування. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/226-94-%D0%BF#Text> (дата звернення: 21.11.2024).

11. Про затвердження Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-97-%D0%BF#Text> (дата звернення: 21.11.2024).

12. Про охорону дитинства. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2402-14#Text> (дата звернення: 21.11.2024).

13. Про реабілітацію жертв репресій комуністичного тоталітарного режиму 1917-1991 років. *Верховна рада України* : Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-12#Text> (дата звернення: 21.11.2024).

14. Gómez-Lobo A. Affordability of Public Transport: A Methodological Clarification. *Journal of Transport Economics and Policy*. 2011. Vol. 45, № 3. P. 437–456.

15. Любий Є.В., Свічинський С.В. Основи теорії транспортних процесів і систем: моделювання маршрутних систем пасажирського транспорту міст. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2012. № 44(950). С. 55–60.

16. Appendix E: Traffic Analysis Tools by Category. U.S. *Department of Transportation* : Federal Highway Administration : URL: [http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat\\_vol2/sectapp\\_e.htm#top](http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat_vol2/sectapp_e.htm#top) (дата звернення: 21.11.2024).

17. Digital mobility solutions. *Aimsun SLU website*. URL: <https://www.aimsun.com/> (дата звернення: 21.11.2024).
18. Florian M. Models and Software for Urban and Regional Transportation Planning: The Contributions of the Center for Research on Transportation. *INFOR: Information Systems and Operational Research*. 2008. Vol. 46(1). P. 29–49.
19. EMME Multimodal Transport Planning Software. *Bentley Systems website*. URL: <https://www.bentley.com/software/emme/> (дата звернення: 21.11.2024).
20. TransCAD Transportation Planning Software. *Caliper Corporation website*. URL: <https://www.caliper.com/tcovu.htm> (дата звернення: 21.11.2024).
21. Ortuzar J. D., Willumsen L. G. *Modelling Transport* / [4th Ed.]. Chichester: John Wiley & Sons, 2011. 586 p.
22. ДБН Б.2.2-12:2019. Державні будівельні норми України. Планування та забудова територій. [Введ. 2019-01-10]. К.: ДП «Укрархбудінформ», 2019. 185 с.
23. Паспорт міста Луцька 2017. *Офіційний сайт Луцької міської ради*. URL: [https://www.lutskrada.gov.ua/sites/default/files/u1457/pasport\\_mista\\_2017.pdf](https://www.lutskrada.gov.ua/sites/default/files/u1457/pasport_mista_2017.pdf) (дата звернення: 21.11.2024).
24. Аналіз вхідної інформації. розробка пропозицій по вдосконаленню організації дорожнього руху; пропозицій щодо розвитку велосипедної мережі в місті та підземних переходів, а також пропозицій щодо розширення зон зберігання та паркування автотранспорту; пропозицій щодо вдосконалення світлофорного регулювання. виконання розділів вантажний автомобільний транспорт, функціонально-планувальна характеристика міста та основні техніко-економічні показники. розробка імітаційних транспортних моделей найбільш навантажених перехресть в програмному середовищі Vissim / Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Кафедра транспортних систем і логістики. Харків: ХНАДУ, 2018. 245 с.
25. Державна служба статистики України. *Офіційний вебсайт*. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 21.11.2024).
26. PTV Visum 2023 Manual. Karlsruhe: PTV Planung Transport Verkehr GmbH, 2022. 2773 p.

Додаток А  
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Факультет транспортних систем

Кафедра транспортних систем і логістики

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
магістра

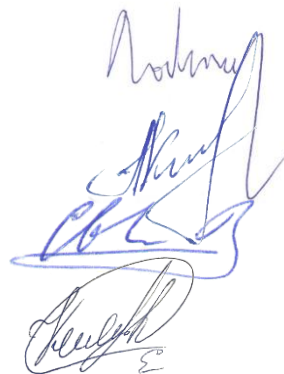
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ ОБ'ЄКТІВ МАСОВОГО ВІДВІДУВАННЯ  
У МІСТІ ЛУЦЬК

Завідувач кафедри канд. техн. наук, доцент

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент

Керівник канд. техн. наук, доцент

Студентка гр. ТС-62-23



Євген ЛЮБИЙ

Олександр КОЛІЙ

Станіслав СВІЧИНСЬКИЙ

Катерина СОРОКІНА

Харків – 2024

## ЗМІСТ

- 1 Тема роботи
- 2 Мета та задачі дослідження
- 3 Види доступності при користуванні громадським транспортом
- 4 Програмне забезпечення для моделювання роботи міських транспортних систем
- 5 Аналіз мережі маршрутів громадського транспорту міста Луцьк
- 6 Маршрутна мережа громадського транспорту міста Луцьк
- 7 Актуалізація матриці пасажирських кореспонденцій (МПК) на громадському транспорті
- 8 Результати прогнозування чисельності населення м. Луцьк на 2024 рік
- 9 Прогнозна на 2024 рік матриця пасажирських кореспонденцій
10. Епюри середньодобових для буднього дня пасажиропотоків на громадському транспорті
11. Оцінка діючої маршрутної мережі громадського транспорту м. Луцьк
12. Ізохрони часу пересування та кількості пересадок до при прямуванні до загальноміського центру
13. Ізохрони часу пересування до інших об'єктів масового відвідування у місті Луцьк
14. Ізохрони часу пересування до інших об'єктів масового відвідування у місті Луцьк (продовження)
- 15 Висновки

Факультет транспортних систем

Кафедра транспортних систем і логістики

# **ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ ОБ'ЄКТІВ МАСОВОГО ВІДВІДУВАННЯ У МІСТІ ЛУЦЬК**

Виконала: ст. гр. ТС-62-23 Катерина СОРОКІНА

Керівник: к.т.н., доц. Станіслав СВІЧИНСЬКИЙ

# Мета та задачі дослідження

## Мета:

оцінка транспортної доступності об'єктів масового відвідування у місті Луцьк при пересуваннях громадським транспортом.

## Об'єкт:

процес пересувань пасажирів громадським транспортом.

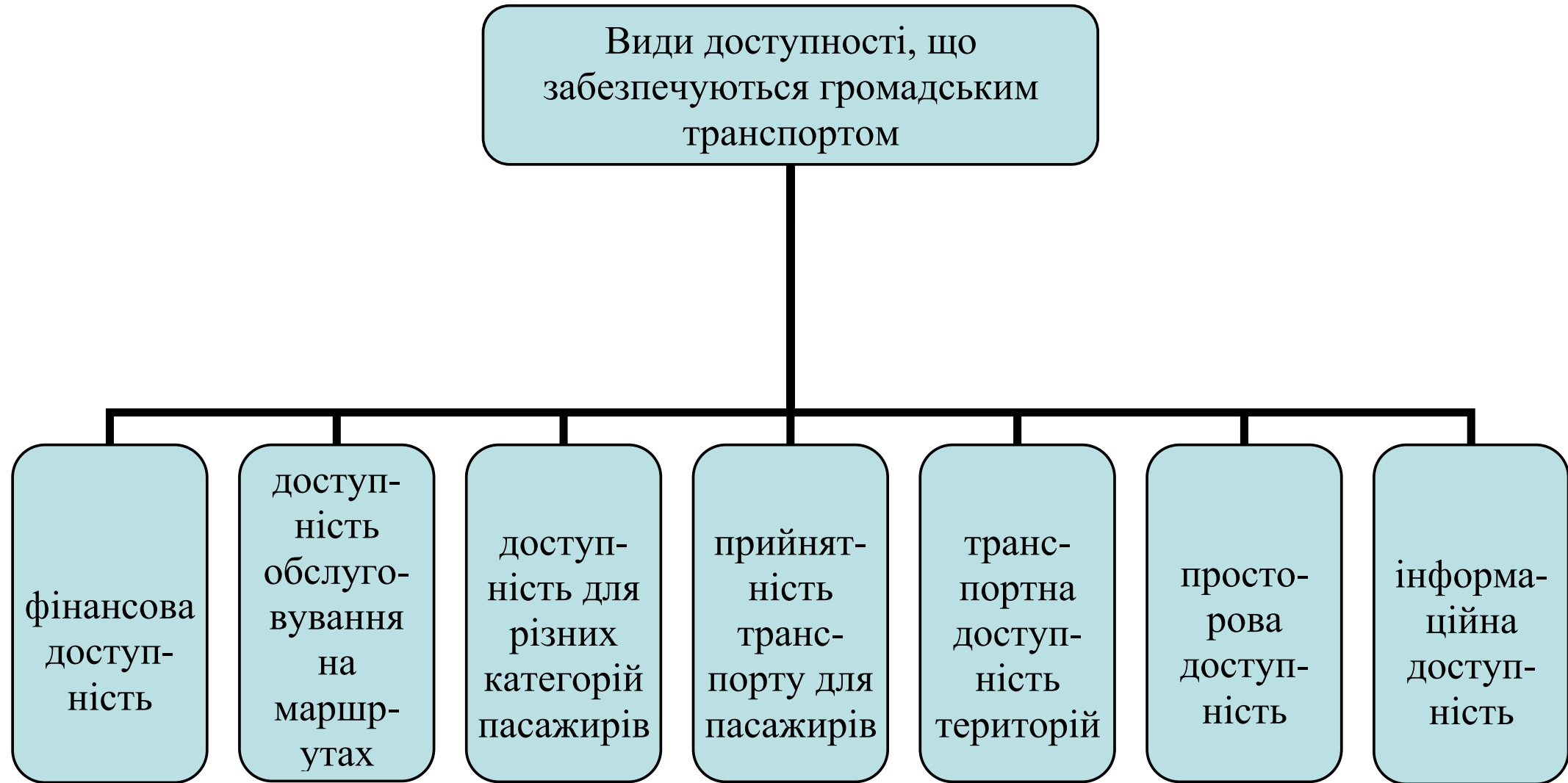
## Предмет:

характеристики дальності пересувань пасажирів до об'єктів масового відвідування.

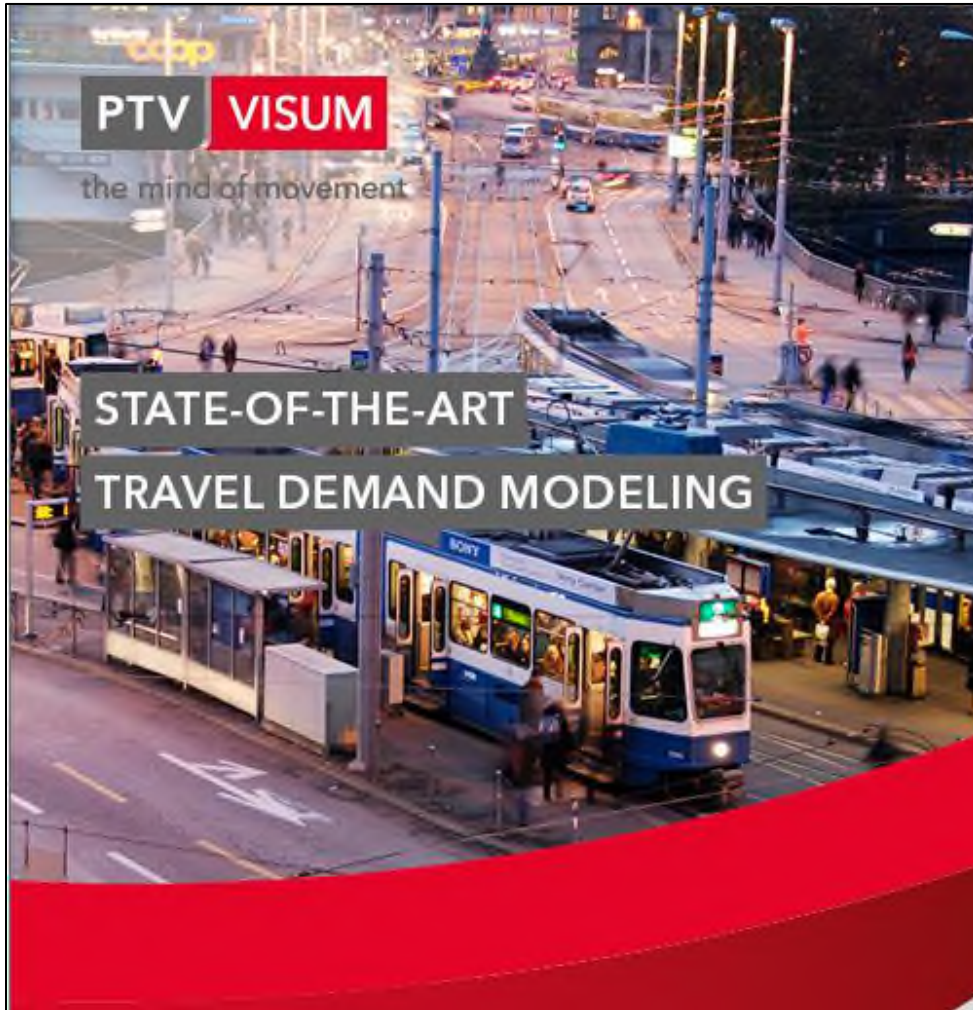
## Задачі:

- аналіз видів доступності ГТ та поточного стану мережі маршрутів у м. Луцьк;
- формування методики розробки транспортної моделі ГТ м. Луцьк та оцінки транспортної доступності територій;
- розробка транспортної моделі м. Луцьк;
- оцінка транспортної доступності найбільших місць тяжіння у м. Луцьк при пересуваннях до них міським ГТ.

# Види доступності при користуванні громадським транспортом



# Програмне забезпечення для моделювання роботи міських транспортних систем



Bentley



# Аналіз мережі маршрутів громадського транспорту міста Луцьк

## *Середня довжина перегону*

$$\bar{l}_{пер} = \frac{\sum_{x=1}^k l_{пер x}}{k} = 0,404 \text{ км}$$

де  $l_{пер x}$  – довжина  $x$ -го перегону – відстань між суміжними зупинками;

$k$  – загальна кількість перегонів у маршрутній мережі (ММ).

## *Маршрутний коефіцієнт*

$$k_m = \frac{\sum_{z=1}^m l_{m z}}{L_m} = \frac{535,99}{90,71} = 5,91$$

де  $l_{m z}$  – довжина  $z$ -го маршруту;

$m$  – кількість маршрутів громадського транспорту (ГТ) в місті;

$L_m$  – довжина транспортної мережі, по якій проходять маршрути ГТ, км.

## *Щільність маршрутної мережі:*

$$\delta = \frac{L_m}{F_{сел}} = \frac{90,71}{25,7} = 3,53 \text{ км/км}^2$$

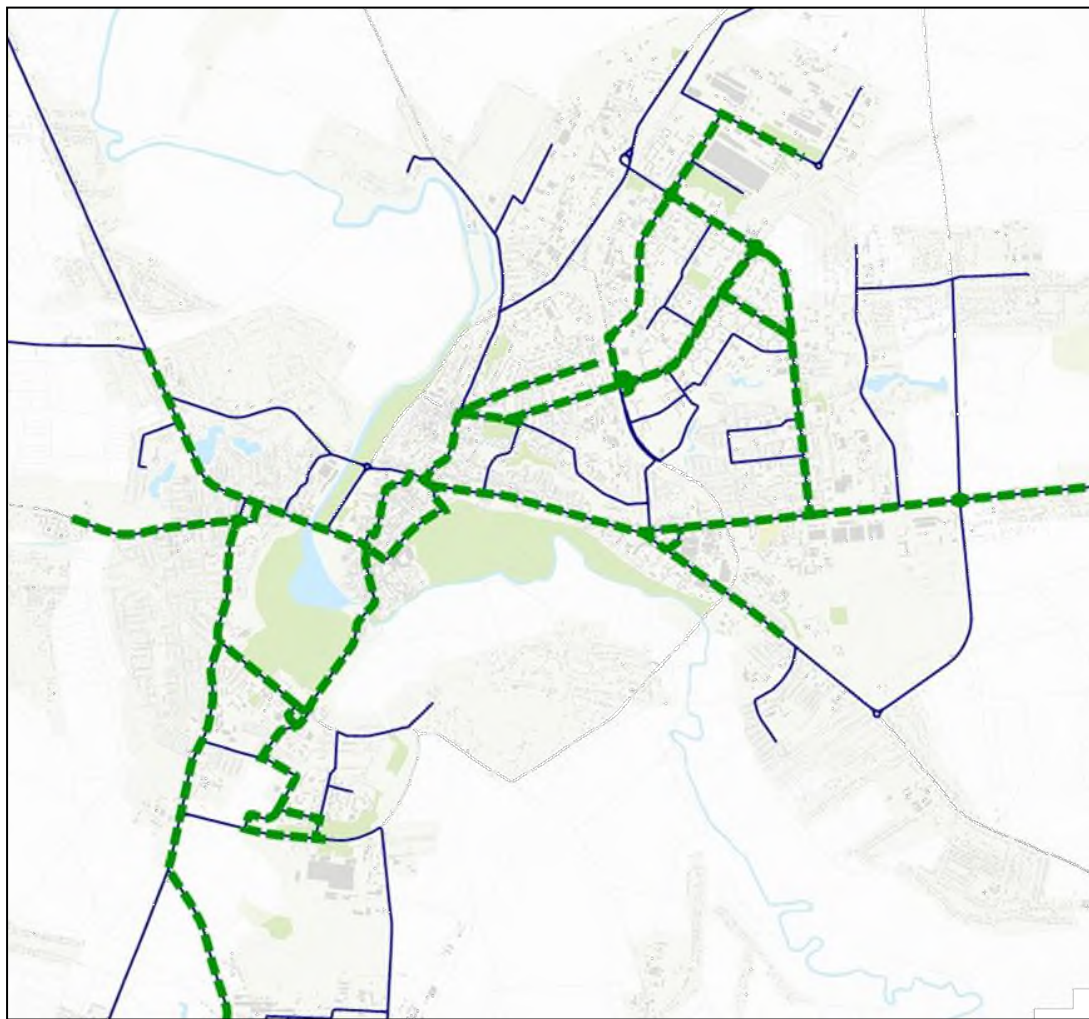
де  $F_{сел}$  – селітебна площа міста, км<sup>2</sup>.

## *Середня дальність підходу до зупиночного пункту (пішохідна доступність громадського транспорту):*

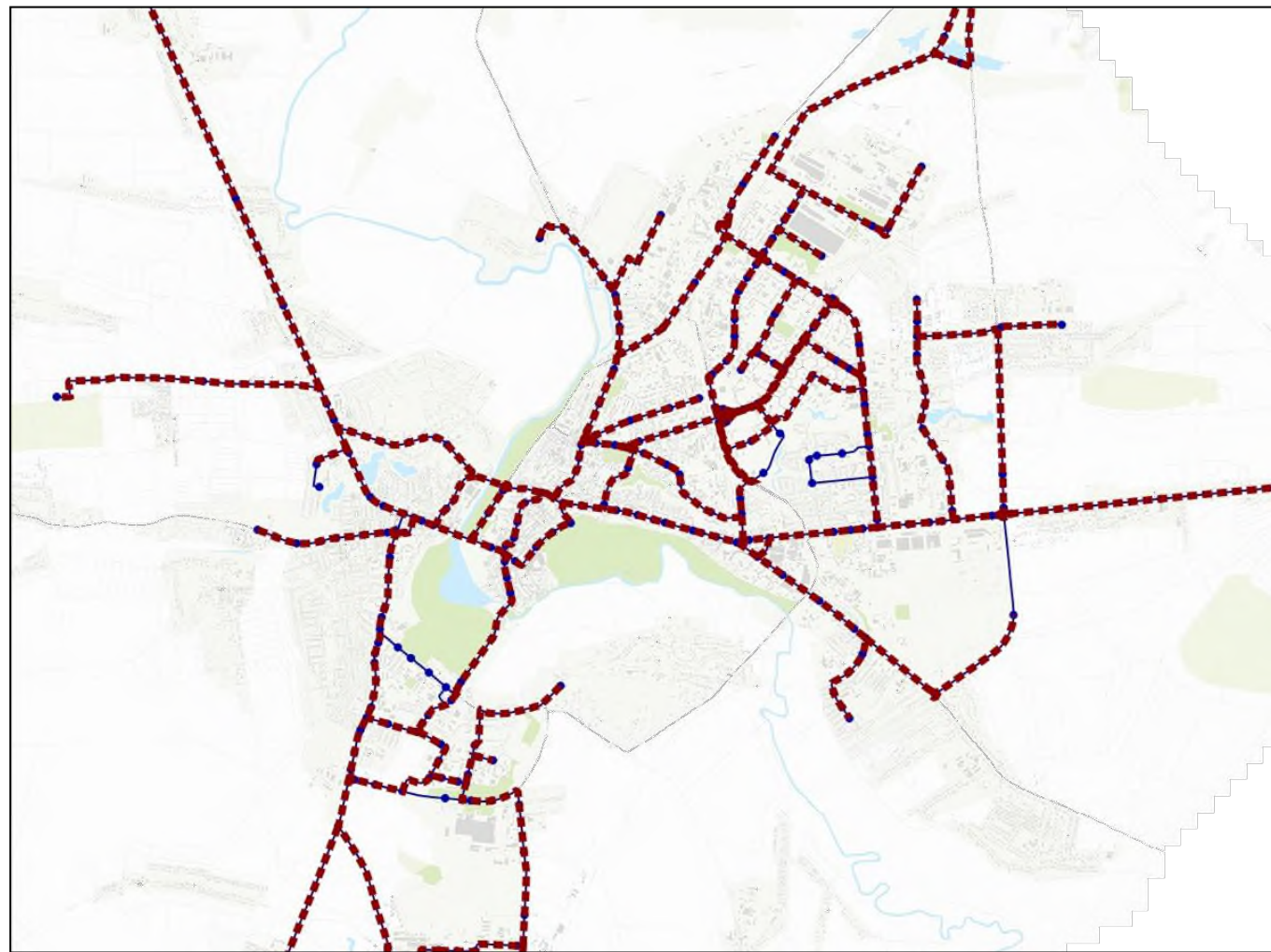
$$l_{нд} = \frac{1}{3 \cdot \delta} = \frac{1}{3 \cdot 3,53} = 0,094 \text{ км}$$

# Маршрутна мережа громадського транспорту міста Луцьк

мережа тролейбусних маршрутів



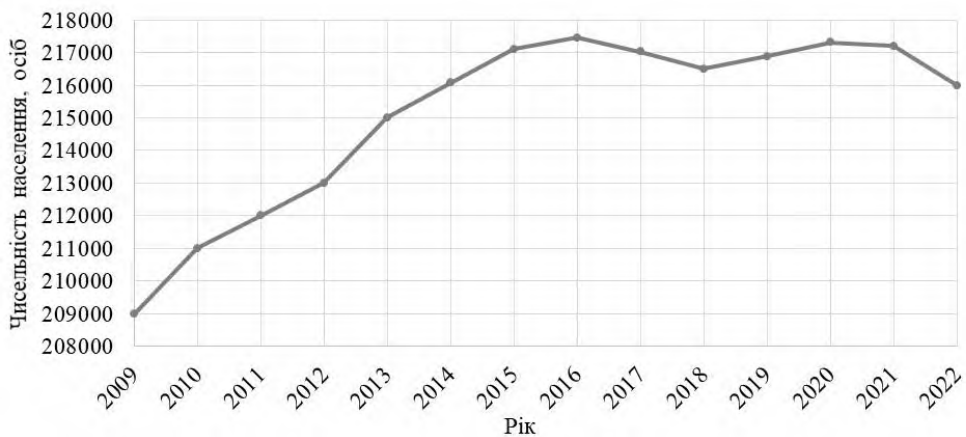
мережа автобусних маршрутів



# Актуалізація матриці пасажирських кореспонденцій (МПК) на громадському транспорті

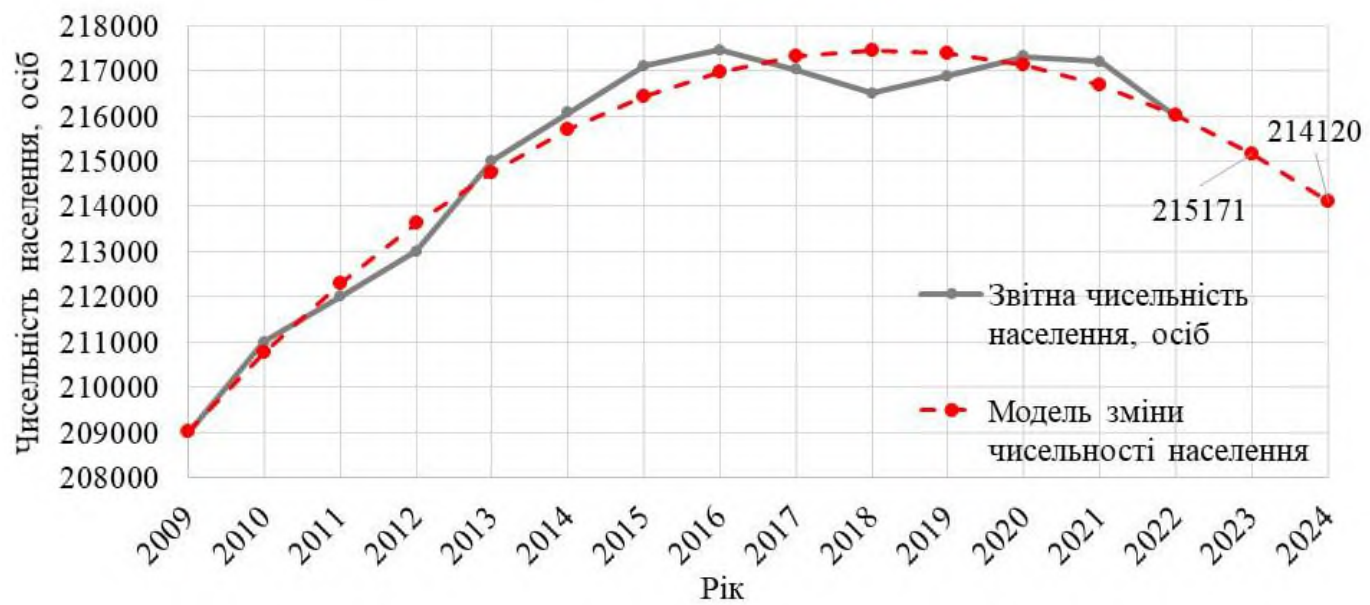
## Основа для оновлення:

- 1) матриця кореспонденцій, розрахована під час виконання науково-дослідної роботи за договором від 09.10.2017 р. № 77-09-17/974 «Розробка комплексної схеми руху транспорту м. Луцька» (2017 р.);
- 2) динаміка зміни чисельності населення у місті Луцьк протягом 2009-2022 років:



ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	4	0	0	0	2	1	27	6	0	2	2	11	9	24	62	25	10	16	12	48	4	0	8	11	20	27	14	26	38
2	1	0	0	4	0	5	3	91	30	0	12	64	35	43	115	229	82	34	40	36	205	92	35	19	55	65	87	45	79	151
3	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	3	8	4	0	1	1	2	0	0	0	0	3	3	0	2	5	
4	0	4	0	0	0	0	0	30	4	0	1	2	2	8	22	57	3	1	2	3	45	4	14	6	11	20	24	13	22	35
5	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	2	2	5	13	2	1	1	2	8	0	3	6	2	18	7	9	6	8
6	0	6	0	0	0	0	0	63	12	0	3	4	16	3	98	215	44	21	27	21	92	6	22	14	33	57	15	10	5	4
7	0	3	0	1	0	1	0	23	5	0	1	2	10	13	35	65	10	3	227	116	57	1	2	39	13	25	32	25	47	67
8	3	74	4	25	6	42	36	0	158	2	28	44	263	422	1252	4660	1063	883	688	582	1334	71	80	451	683	836	1017	273	629	1245
9	0	20	0	2	0	4	3	124	0	0	7	12	35	51	158	340	90	40	54	44	239	23	17	25	89	140	196	55	151	260
10	0	10	0	0	0	0	0	7	3	0	1	8	3	4	9	19	7	4	3	3	21	14	3	1	5	7	7	4	6	14
11	0	17	0	1	0	2	2	44	16	0	0	9	16	19	56	114	37	14	20	15	110	106	13	8	28	35	42	20	38	75
12	0	51	0	1	0	2	1	35	12	0	17	0	15	19	51	97	40	15	20	13	98	47	11	7	24	30	39	18	33	71
13	3	36	0	2	1	12	9	282	67	0	13	5	0	105	184	580	58	15	31	51	61	7	169	90	139	249	210	150	193	369
14	1	30	0	6	2	10	10	430	58	0	11	21	72	0	726	1596	227	107	159	153	554	43	25	101	198	311	493	121	286	613
15	2	67	1	16	4	52	25	897	147	2	26	41	147	682	0	3770	457	234	270	253	757	70	54	185	774	1038	2245	322	1012	2070
16	7	166	6	42	8	126	63	4113	379	4	64	102	427	1542	4537	0	1449	849	893	927	2881	171	259	1028	2606	2363	2828	720	1620	3236
17	11	114	4	12	3	136	48	1305	137	4	27	42	187	275	706	1997	0	305	353	515	1088	68	1228	776	353	565	706	203	466	989
18	1	28	0	3	1	39	5	680	41	0	9	12	36	94	241	756	215	0	169	501	358	20	79	364	123	183	226	59	139	309
19	270	58	0	2	0	18	21	712	72	0	4	16	22	166	385	1063	82	54	0	140	633	57	221	160	181	296	393	169	364	533
20	1	23	0	7	1	10	27	541	45	0	13	18	87	192	306	993	276	309	328	0	518	52	185	244	183	275	286	113	247	391
21	4	251	2	22	5	42	104	749	171	8	110	154	263	343	1360	2016	659	268	330	263	0	360	276	143	537	949	1592	636	1075	4081
22	0	76	0	2	0	6	2	57	22	2	54	41	33	79	94	196	58	24	97	77	215	0	35	19	65	236	71	117	62	144
23	0	27	0	10	2	8	10	243	30	0	13	19	48	64	172	678	269	137	215	252	432	34	0	150	157	239	162	58	172	230
24	1	17	0	7	1	10	9	496	35	0	8	10	65	122	280	1276	193	132	167	295	300	19	39	0	148	188	228	83	196	288
25	1	67	0	7	1	17	10	535	84	1	14	21	72	179	861	2393	229	121	133	131	748	60	119	104	0	772	511	147	299	620
26	3	150	0	17	4	31	25	831	173	4	44	53	167	363	1419	2724	487	233	283	254	1777	149	247	164	1007	0	1148	309	856	1272
27	3	62	0	22	5	15	24	905	243	2	25	36	214	458	2939	2899	605	282	347	296	933	67	69	182	560	990	0	549	1845	4519
28	3	56	0	14	4	14	31	326	32	1	22	34	178	128	403	997	116	47	253	196	599	37	41	101	195	221	892	0	1804	2088
29	7	111	0	36	8	24	85	385	193	3	43	67	380	216	884	1110	286	128	604	519	1075	80	92	270	251	492	1114	2449	0	4857
30	6	120	4	34	9	17	52	1095	329	3	51	73	332	444	2647	3294	895	401	443	373	2707	150	118	224	419	506	6033	1386	2846	0

# Результати прогнозування чисельності населення м. Луцьк на 2024 рік



## Оцінка точності моделі прогнозування чисельності населення

Рік	Фактична (звітна) чисельність населення міста, осіб	Розрахункова чисельність населення міста, осіб	Відносна похибка апроксимації, %
2009	209000	209031	0,01
2010	211000	210761	0,11
2011	212000	212293	0,14
2012	213000	213625	0,29
2013	215000	214759	0,11
2014	216076	215695	0,18
2015	217103	216432	0,31
2016	217450	216969	0,22
2017	217033	217309	0,13
2018	216505	217449	0,44
2019	216887	217391	0,23
2020	217315	217134	0,08
2021	217197	216679	0,24
2022	215986	216024	0,02
Середнє	215111	215111	0,18

$$Q = 401032,7605769 \cdot q_n - 99,3537088 \cdot q_n^2 - 404466168,749456$$

Показник моделі	Значення
Множинний коефіцієнт кореляції $R$	0,9847896
$R$ -квадрат	0,9698107
Нормований $R$ -квадрат	0,9643217
Стандартна помилка	517,3626333
Кількість спостережень	14
Інформаційна здатність моделі	$4,357 \cdot 10^{-9}$

# Прогнозна на 2024 рік матриця пасажирських кореспонденцій

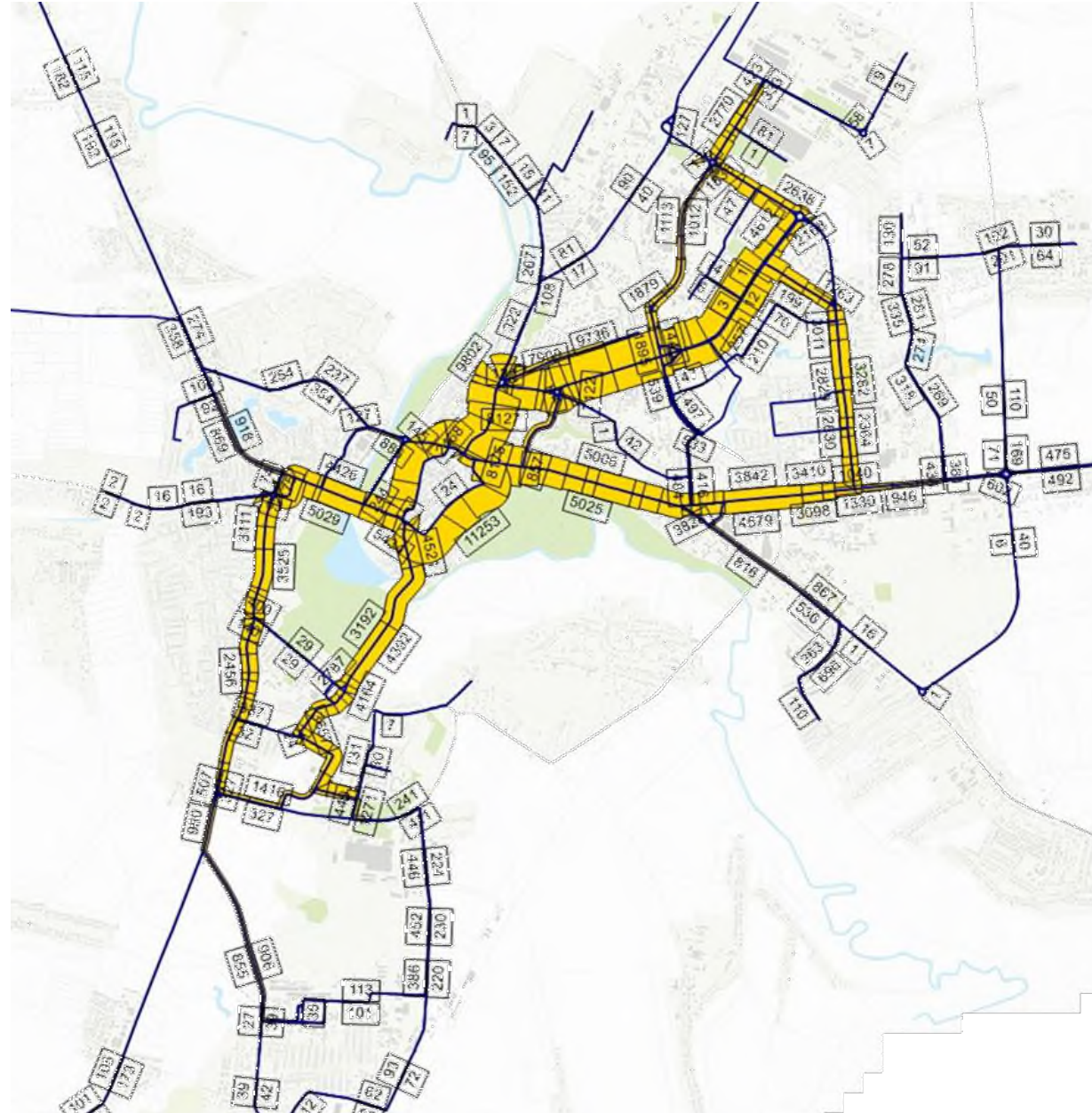
*Формула для екстраполяції матриці на 2024 рік:*

$$H_{ij} = 0,9866 \cdot h_{ij}$$

де  $h_{ij}$  – значення кореспонденції між транспортними районами  $i$  та  $j$  станом на 2017 рік;  
0,9866 – коефіцієнт зменшення чисельності населення м. Луцьк по відношенню до 2017 року.

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	4	0	0	0	2	1	27	6	0	2	2	11	9	24	61	25	10	16	12	47	4	0	8	11	20	27	13	25	37
2	0	0	0	4	0	5	3	90	30	0	12	63	34	43	114	226	81	33	39	36	202	91	35	18	54	64	86	44	78	149
3	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	3	8	3	0	1	1	2	0	0	0	0	3	3	0	2	5
4	0	4	0	0	0	0	0	29	4	0	1	2	2	8	22	56	3	1	2	3	44	3	14	6	11	19	24	12	21	35
5	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	2	2	5	13	2	1	1	2	8	0	3	6	2	18	7	9	6	8
6	0	6	0	0	0	0	0	63	12	0	2	4	16	3	96	212	43	21	26	20	91	6	22	14	33	56	15	10	5	4
7	0	3	0	1	0	1	0	23	5	0	1	2	10	12	35	64	10	3	224	115	56	1	2	39	13	24	31	25	46	66
8	3	73	4	25	6	42	35	0	156	2	28	44	259	416	1235	4598	1048	871	679	575	1316	70	79	445	674	825	1003	270	621	1228
9	0	20	0	2	0	3	3	123	0	0	7	12	35	50	156	335	89	40	53	43	236	22	17	24	87	138	194	54	149	256
10	0	10	0	0	0	0	0	7	3	0	1	8	3	4	9	19	7	4	3	3	20	13	3	1	5	7	7	3	6	14
11	0	17	0	1	0	2	2	44	16	0	0	8	15	19	55	112	36	14	20	14	108	105	12	8	27	34	42	20	37	74
12	0	51	0	1	0	2	1	34	12	0	17	0	15	18	50	96	39	15	19	13	97	46	11	7	24	30	38	17	33	70
13	3	36	0	2	1	11	8	279	66	0	12	5	0	104	182	572	57	15	31	50	60	6	166	89	137	245	208	148	190	364
14	1	30	0	6	2	9	10	424	58	0	11	21	71	0	717	1575	224	106	157	151	546	42	25	99	195	307	486	120	283	605
15	2	66	1	16	3	51	25	885	145	2	26	40	145	672	0	3720	451	231	266	249	747	69	53	182	764	1024	2215	318	998	2042
16	7	164	6	42	8	125	62	4058	374	4	64	101	422	1521	4476	0	1429	837	881	914	2843	169	256	1014	2571	2332	2790	711	1598	3192
17	11	113	3	12	2	134	48	1287	135	4	27	42	185	271	696	1970	0	301	348	508	1073	67	1212	766	348	557	696	200	460	975
18	1	27	0	3	1	39	5	671	41	0	9	12	35	93	238	746	212	0	166	495	353	20	78	359	122	181	223	58	138	305
19	266	57	0	2	0	17	20	703	71	0	4	16	22	164	380	1049	81	53	0	138	624	56	218	158	179	292	388	167	359	526
20	1	22	0	7	1	10	26	534	44	0	13	18	86	190	302	980	272	305	323	0	511	51	182	241	181	272	282	112	244	386
21	4	248	2	22	5	42	102	739	168	8	108	152	259	339	1341	1989	650	265	325	260	0	356	272	141	530	936	1571	628	1061	4026
22	0	75	0	2	0	6	2	56	22	2	53	41	33	78	93	194	58	24	95	76	212	0	34	19	64	233	70	116	61	142
23	0	27	0	9	2	8	10	240	30	0	12	19	48	63	170	669	266	135	212	249	426	34	0	148	155	236	160	57	170	227
24	1	17	0	7	1	10	9	489	35	0	8	10	64	120	277	1259	191	130	165	291	296	19	38	0	146	185	225	82	194	284
25	1	66	0	6	1	17	10	528	83	1	14	21	71	177	850	2361	226	120	132	129	738	59	117	103	0	762	504	145	295	611
26	3	148	0	16	4	31	24	820	171	4	43	53	164	358	1400	2688	481	230	279	251	1753	147	244	162	993	0	1133	304	844	1255
27	3	61	0	22	5	15	24	893	240	2	24	36	212	452	2900	2860	597	278	342	292	920	66	68	179	553	976	0	542	1821	4458
28	3	55	0	14	4	13	30	322	32	1	22	33	176	126	398	984	114	47	250	194	591	36	40	100	192	218	880	0	1780	2060
29	7	109	0	35	8	24	84	380	191	3	43	66	375	213	872	1095	282	126	596	512	1061	79	91	267	248	486	1099	2416	0	4792
30	5	119	4	34	9	17	51	1081	325	3	50	72	327	438	2611	3250	883	396	437	368	2670	148	116	221	414	499	5953	1367	2808	0

# Епюри середньодобових для буднього дня пасажиропотоків на громадському транспорті



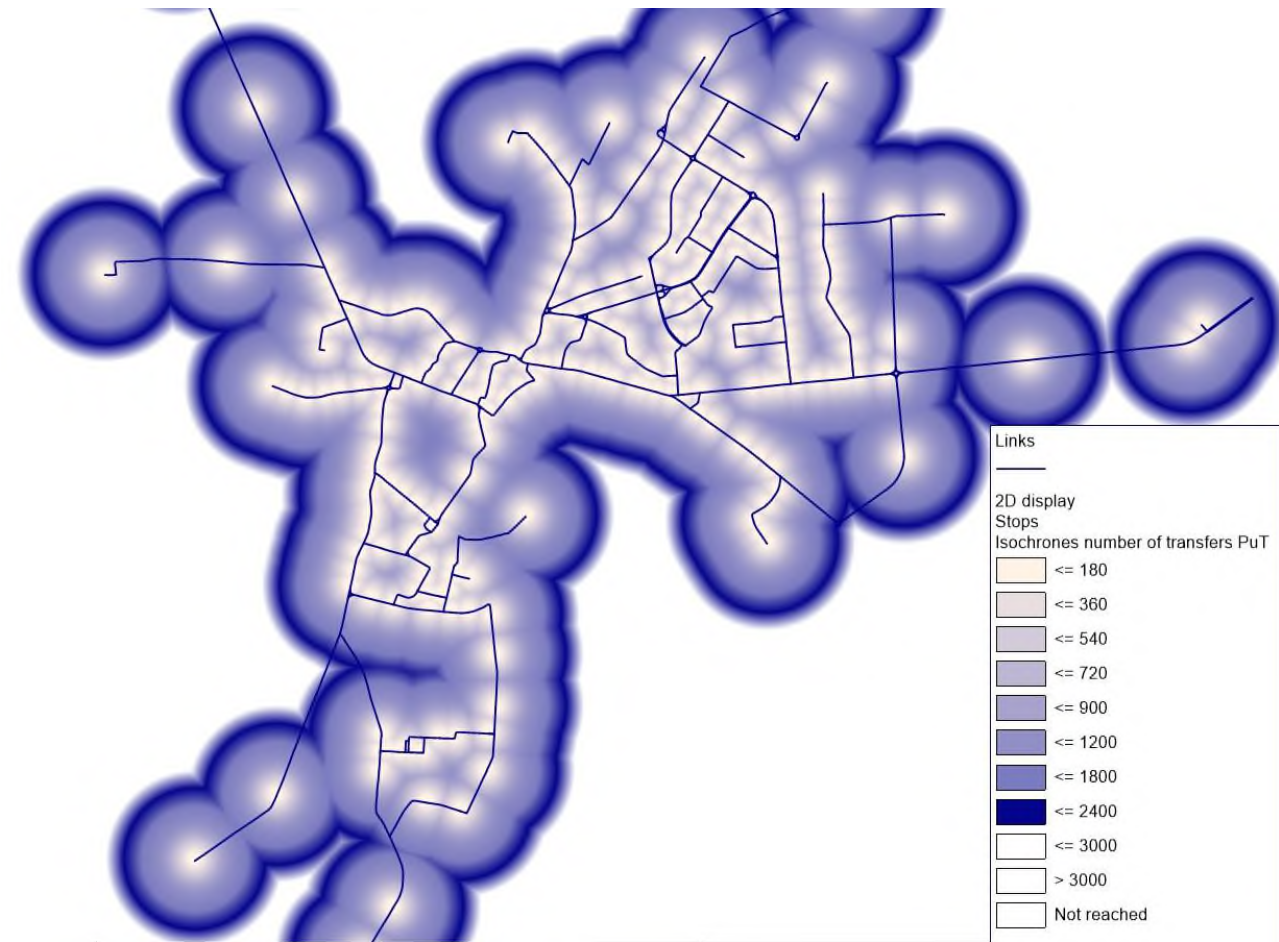
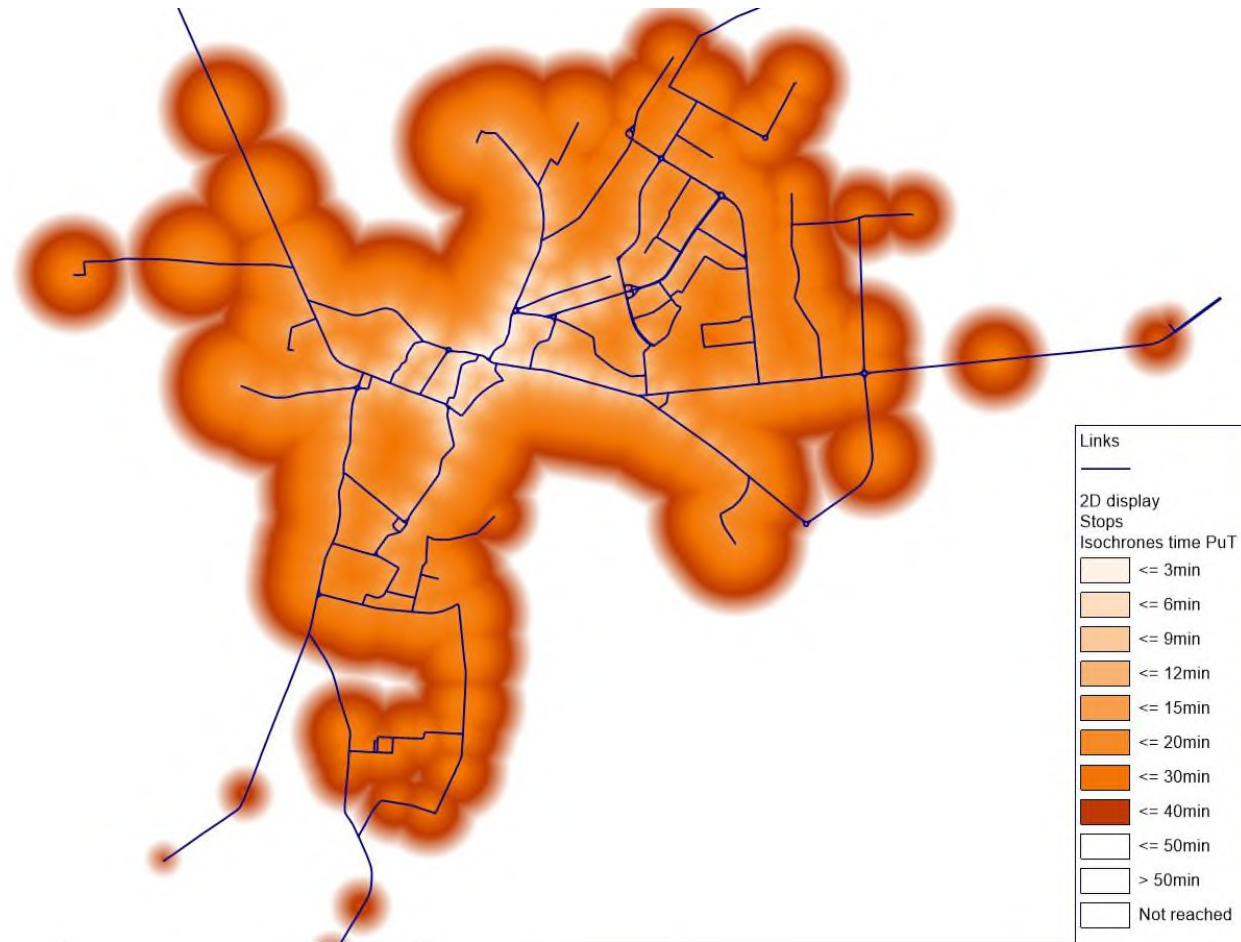
# Оцінка діючої маршрутної мережі громадського транспорту м. Луцьк

Показник	Розрахункове значення показника
Кількість маршрутів, од., в т.ч.: - тролейбусних - автобусних	31 9 22
Загальний добовий пробіг на маршрутах, км, в т.ч.: - на тролейбусних маршрутах - на автобусних маршрутах	65396 8373 57023
Середній час пересування пасажирів громадським транспортом, хв.	28,07
Середня відстань пересування громадським транспортом, км	3,578
Частка пересувань з пересадками	1,009

# Ізохрони часу пересування та кількості пересадок до при прямуванні до загальноміського центру

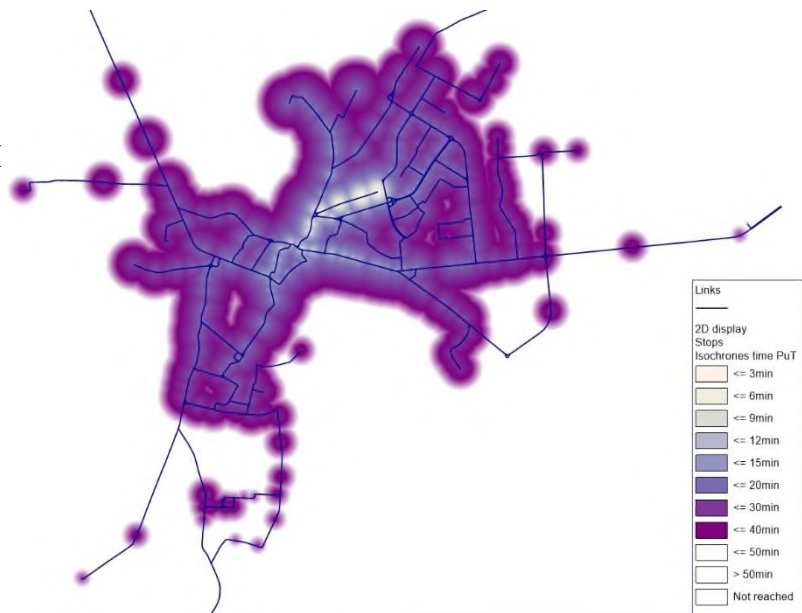
час пересування

кількість пересадок



# Ізохрони часу пересування до інших об'єктів масового відвідування у місті Луцьк

Залізничний вокзал і Волинська обласна клінічна лікарня



Луцька міська клінічна лікарня і Парк ім. 900-річчя м. Луцька



Автовокзал



Торгівельний центр «Там-Там»

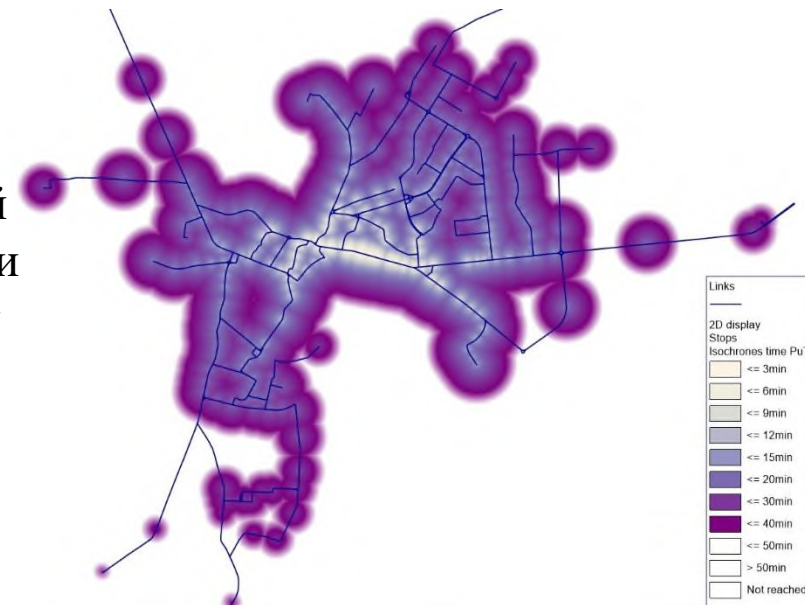


# Ізохрони часу пересування до інших об'єктів масового відвідування у місті Луцьк (продовження)

Міський ринок (район «Старе місто»)



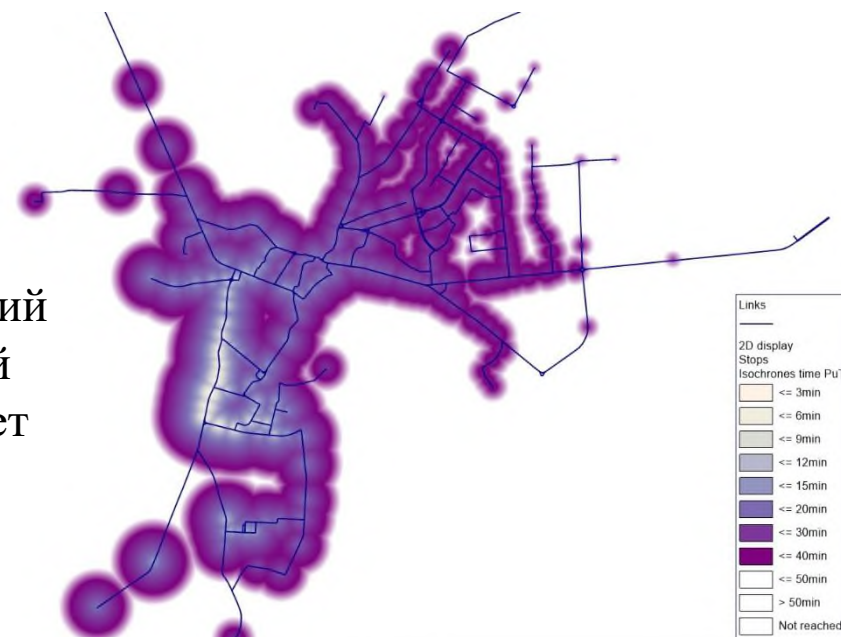
Центральний парк культури і відпочинку ім. Лесі Українки



Луцька картонно-паперова фабрика



Луцький національний технічний університет



# Висновки

1. Однією з найбільш розповсюджених оцінок роботи міського ГТ є забезпечення ним транспортної доступності місць тяжіння на території міста. При цьому варто брати до уваги те, що доступність ГТ визначається з огляду на його інфраструктуру, в тому числі конфігурацію ММ та наявний рухомий склад, який працює на маршрутах та має певні швидкісні характеристики.
2. Всім вимогам, що пред'являються до програмного забезпечення, яке повинне дати можливість оцінки транспортної доступності різних міських районів, відповідає програма VISUM – у неї вбудована більшість з популярних на сьогоднішній день методів та моделей виконання кожного етапу транспортного моделювання.
3. В результаті проведеного аналізу ММ м. Луцьк було встановлено, що: для ММ ГТ міста, характерна діагональна структура зі слабо вираженими хордовими зв'язками, що приводить до підвищеної концентрації маршрутів ГТ в центральній частині міста та великих витрат часу при пересуваннях між його суміжними околицями. Серед іншого це обумовлено тим, що через місто проходить залізниця та воно розташоване вздовж берегу р. Стир; результати аналізу можливості користування послугами ГТ для пільгових категорій населення свідчать про неповне охоплення території міста соціально значущими тролейбусними маршрутами; середня довжина перегонів ГТ м. Луцька відповідає нормативним значенням, але велика кількість перегонів з малою довжиною вказує на доцільність переведення роботи маршрутів ГТ у звичайний режим руху; щільність ММ м. Луцьк  $3,53 \text{ км/км}^2$  свідчить про достатньо високу розвиненість мережі ГТ та виконання нормативів з пішохідної доступності ГТ.
4. Розробка точної моделі транспортної пропозиції дозволяє забезпечити високу точність розрахунку показників транспортної доступності міських територій. Забезпечити надійний прогноз потреб населення у пересуваннях можна на основі фактичних даних. При цьому розрахунок матриці пасажирських кореспонденцій доцільно здійснити по гравітаційній моделі як такої, що набула широкого застосування на практиці.
5. Для оцінки транспортної доступності найбільших об'єктів транспортного тяжіння у місті Луцьк доцільно використати функцію побудови ізохрон, яка дозволяє розрахувати їх та створити відповідне графічне відображення транспортної доступності мережевих об'єктів.
6. Сформована модель ММ ГТ м. Луцьк дозволяє здійснювати розрахунки, що стосуються пропозиції громадського транспорту, з достатньо високим рівнем точності.
7. МПК на ГТ м. Луцьк, отримана шляхом екстраполяції ретроспективних даних, виконаної на основі прогнозованої на 2024 рік чисельності населення міста, робить розроблену транспортну модель міста придатною для оцінки показників обслуговування населення міста громадським транспортом і рівня транспортної доступності міських об'єктів масового відвідування.
8. Виконані з використанням транспортної моделі ГТ м. Луцька розрахунки вказують на те, що транспортна доступність загальноміського центру є найкращою для тих пасажирів, які користуються зупинками вздовж магістральних вулиць міста. Особливо яскраво це проявляється при графічному зображенні потреб у пересадках при користуванні тими чи іншими зупинками для відправлень до центральної частини міста.
9. Транспортне забезпечення території міста послугами громадського транспорту є достатньо рівномірне, адже складно чітко ідентифікувати міські райони з найкращим або найгіршим транспортним сполученням. Отримані графічні матеріали вказують на закономірне та зрозуміле зменшення транспортної доступності центру міста по мірі віддалення міських територій від нього.