

УДК 519.2

## І.В. Самоненко

к.м.н., доцент, ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-3366-7894>

Кафедра прикладної математики та механіки

Луцького національного технічного університета, вул. Львівська, 75, Луцьк,  
Україна, 43018

\*автор-кореспондент, e-mail: [i.samonenko@lntu.edu.ua](mailto:i.samonenko@lntu.edu.ua)

## Ефективне планування розкладу для автобусних маршрутів із зоною накладання

Цитувати як:

Самоненко І.В. (2025). Ефективне планування розкладу для автобусних маршрутів з зоною накладання. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 23, 250-263. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-22)

© 2025, Самоненко І.В.

*Анотація. У статті розглядається оптимізація розкладів громадського транспорту з метою зменшення часу очікування пасажирів та підвищення ефективності перевезень. Ефективне планування є особливо важливим для міського транспорту, де затримки та великі інтервали між рейсами призводять до переповнення транспорту та незадоволеності користувачів. Для вирішення цих проблем необхідне використання сучасного математичного моделювання та алгоритмічних підходів. У межах дослідження було проаналізовано різні методи оптимізації, зокрема зосереджено увагу на жадібному алгоритмі, що спочатку привернув увагу через свою назву. Незважаючи на простоту, цей алгоритм продемонстрував значний потенціал для вирішення задач розкладу, оскільки приймає оптимальні рішення на кожному етапі. Було проведено аналіз реалізації цього підходу та порівняння з традиційними методами планування. Ключовим внеском дослідження є розробка оптимізаційної структури, яка інтегрує жадібний алгоритм у процес формування розкладів громадського транспорту. Запропонований метод дозволяє ефективно коригувати час прибуття автобусів і мінімізувати інтервали між послідовними транспортними засобами. Важливою складовою є програма реалізація, яка забезпечує підтримку структури в реальному часі та дає змогу формувати оптимізовані розклади.*

*Для перевірки запропонованого підходу було проведено експериментальні дослідження на автобусних маршрутах міста Луцька. Результати показали зменшення середнього часу поїздки на 30% порівняно з традиційним плануванням. Оптимізовані розклади також сприяли рівномірнішому розподілу пасажирів, зниженню рівня завантаженості транспорту та підвищенню надійності обслуговування. Дослідження надає цінні рекомендації для міського транспортного планування, демонструючи потенціал алгоритмічної оптимізації. Перспективними напрямками подальших досліджень є врахування динамічних змін попиту та інтеграція мультимодальних транспортних мереж у стратегії формування розкладів.*

*У розділі «Вступ» наведено аналіз джерел, сформульовано мету й завдання; у «Матеріалах та методах» описано оцінку невизначеності та чисельну реалізацію; у «Результатах та обговоренні» подано статистику симуляцій і приклад на реальних даних; у «Висновках» підкреслено універсальність та практичну цінність розробленого алгоритму.*

*Ключові слова: розклад руху автобусів, оптимізація, перетин маршрутів, математичне моделювання, транспортна логістика.*

## **Вступ**

**Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.** З поширенням урбанізації міські дороги стають перенавантаженими, і громадський транспорт відіграє важливу роль у зменшенні заторів. Однак неправильне планування маршрутів може призвести до збитків. Наприклад, деякі маршрути мають занадто багато спільних зупинок на окремих ділянках, що створює нерівномірне заповнення автобусів. Іншою проблемою є затримки через скупчення транспорту, коли кілька автобусів одночасно прибувають на спільну зупинку. В цій статі розглядаємо оптимізацію двох автобусних маршрутів із зони накладання - ділянки із спільними зупинками без пропусків - на предмет зменшення часу очікування пасажирів.

Автобусні маршрути з зоною накладання можуть спричинити дві основні проблеми. Перша — пасажири, чії зупинки знаходяться в зоні накладання, можуть обирати між кількома маршрутами. Коли два автобуси прибувають на одну зупинку один за одним, може статися так, що більше пасажирів сідатиме в один автобус, а в іншому буде більше вільних місць. Це призводить до переповненого автобуса, що знижує якість обслуговування, а в іншому — до марнотратства ресурсів. Друга проблема — коли кілька автобусів одночасно під'їжджають до зупинки, середній час очікування для пасажирів збільшуються. Тобто, пасажиропотік на деяких ділянках або зупинках є відносно низьким, в той час як зупинки обслуговуються автобусами занадто часто.

В літературі можна знайти багато різних підходів до складання розкладів [3], [4], [5], серед яких обмежене обслуговування зупинок, короткі маршрути та інші є ключовими в процесі оптимізації. Чірафаданакул та Барнхарт [6] запропонували додаткові рейси для обслуговування обмежених зупинок. Ларрейн та ін. [7] застосували короткі маршрути для обслуговування початкових і кінцевих сегментів лінії. Деякі дослідження враховували вплив перетину інтервалів на складання розкладу автобусів, зокрема зосереджуючи увагу на кооперативному складанні графіків для маршрутів з перекриттям та аналізі вибору пасажирами маршрутів. Ставлячи такий підхід за мету, Цедер та ін. [8] розробили графік для заданої мережі з метою максимізації синхронізації автобусів, що прибувають в зони накладання. Маргюї та Цедер [9] ввели нове обмеження в модель планування, яке дозволяє враховувати вибір пасажира під час роботи

автобусів на інтервалі перетину і як цільову функцію брали мінімальний час очікування пасажирів, запропонувавши стратегію вибору маршруту. Однак ці дослідження не враховують дисбаланс пасажиропотоку між різними зупинками та не поєднують зони накладання з комбінованим плануванням транспорту, яке включає як обслуговування всіх зупинок, так і пропуск зупинок. Гассолд і Цедер [10] розробили модель оптимізації розкладу, щоб мінімізувати час очікування пасажирів, враховуючи пасажиропотік. Вищезазначена робота розширила дослідження складу розкладів автобусів, однак вона не враховувала зони накладання взагалі, що обмежувало ефективність моделі. Робота [11], на яку здебільше посилаємося в цій статті, зосереджується на зоні накладання і пропонує змішаний метод планування, що включає як обслуговування всіх зупинок, так і пропуск зупинок.

Перелічені дослідження показують, що оптимізація розкладів маршрутів є складною задачею, розв'язання якої може бути здійснено за допомогою різноманітних методів. Серед них можна виділити методи на основі динамічного програмування, генетичних алгоритмів та моделей оптимізації з обмеженнями. Наприклад, генетичні алгоритми використовуються для оптимізації частот автобусних маршрутів з урахуванням еластичності попиту на пересадки [5]. Метод динамічного програмування дозволяє ефективно планувати маршрути для коридорів з високим попитом [3]. Інші дослідження зосереджені на зональних експрес-сервісах [6] та максимізації синхронізації автобусів на маршрутах з перекриттям [8].

Дана стаття фокусується на спрощеній моделі, яка демонструє, що навіть базові зміни у складанні розкладу можуть суттєво покращити ефективність транспортної системи. Жадібний підхід, як найпростіший та найбільш інтуїтивно зрозумілий з огляду на літературу [12], дає змогу на кожному кроці вибирати оптимальний варіант — найефективніший маршрут з точки зору мінімізації часу очікування пасажирів, уникаючи перевантаження або порожніх автобусів на зупинках. Це дослідження доповнює існуючі роботи, такі як [10], де розглядається комбіноване планування для маршрутів із пропуском зупинок, а також [9], де оптимізація базується на максимальному завантаженні транспортних засобів.

Для виконання розрахунків і статистичного аналізу було використано програмування на мові Python. Результатом є наочні графіки часу очікування та аналіз ефективності вибраної цільової функції. Завдяки цьому алгоритму можна ефективно збалансувати частоти маршрутів, зменшити витрати ресурсів та оптимізувати розклад в умовах накладання інтервалів.

Проблеми з розкладом маршрутних автобусів є поширеною темою серед мешканців міста Луцька. Наприклад, 18 вересня 2024 року на "гарячу" лінію надійшла скарга, де йшлося про те, що автобуси №32 та №24 не з'являлися на зупинках на вулиці Ковельській після 21:00, що викликало

значні незручності для пасажирів. Два дні пізніше, 20 вересня, була подана ще одна скарга на порушення графіка руху автобусів №12 та №24 на зупинці на вулиці Львівській, де пасажирів змушені були чекати з 6:40 до 7:30. Щоб передивитися скарги, можна перейти за посиланнями [1], [2]. Це лише кілька прикладів того, як неефективне планування та порушення розкладу можуть створювати серйозні незручності для пасажирів. Тому важливо досліджувати існуючі проблеми та розробляти стратегії для оптимізації розкладів автобусних маршрутів, аби забезпечити своєчасне та комфортне перевезення.

Під час дослідження, було обрано та детально проаналізовано підхід на основі жадібних алгоритмів (“Greedy Algorithms”). Код реалізації став важливим інструментом для підтримки цього підходу, дозволяючи визначати розклад маршруту за його ключовими зупинками в зоні накладання. Такий підхід дає змогу коригувати графіки руху таким чином, щоб зменшити середній час очікування пасажирів і уникати перевантаження окремих автобусів.

**Мета та завдання дослідження.** Метою цього дослідження є оптимізація розкладу маршрутів автобусів №32 та №12 для зменшення часу очікування пасажирів.

Завданнями дослідження є:

1. Розробка ефективного алгоритму для мінімізації часу очікування на зупинках та підвищення комфорту пасажирів.
2. Проведення статистичного аналізу та оптимізація інтервалів між автобусами на маршрутах з перетинами.
3. Застосування програмування на Python для виконання розрахунків і статистичного аналізу, що дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних та створювати наочні графіки для детального аналізу результатів.

Метод оптимізації розкладу маршрутів, запропонований у цьому дослідженні, може бути корисним для організаторів громадського транспорту, транспортних компаній, міських органів влади та дослідників у галузі транспорту. Окрім того, цей метод може бути корисним для розробників програмного забезпечення, які займаються автоматизацією оптимізації маршрутів.

### **Матеріали та методи**

Зважаючи на складність завдання, що вимагає врахування таких факторів, як пасажиропотік, інтервали між автобусами та час прибуття на спільні зупинки, ми моделюємо оптимізацію, базуючись на припущеннях, що:

- процес детермінований,
- пасажиропотік рівномірний,
- зупинки обслуговуються відповідно до заздалегідь визначеного графіка, приходять вчасно за інтервалом на кожній зупинці,

- автобуси не пропускають зупинок.

Для вибору оптимізації вибираємо *жадібний підхід*. Цей метод є простим та інтуїтивно зрозумілим, оскільки на кожному кроці вибирається найбільш вигідне рішення, яке забезпечує мінімальні затримки і ефективне використання транспорту.

У цій статті розглядається комбінований метод складання розкладу лише для двох автобусних маршрутів, відображених на рис. 1.

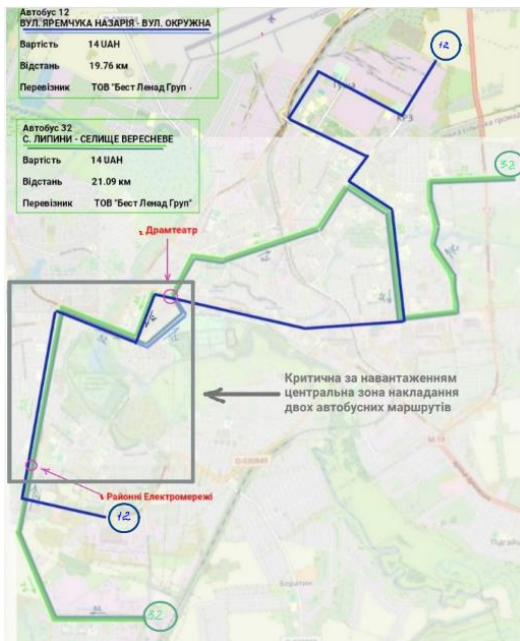


Рисунок 1. Карта маршрутів двох автобусів з зоною накладання

Більше інформації щодо офіційного розкладу можна знайти за посиланням на репозиторій GitHub [13] у Додатку 1. Модель можна зобразити за допомогою графа з зоною накладання як на рис. 2

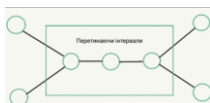


Рисунок 2. Граф маршрутів для дослідження

На графі вершини представляють зупинки автобусів, а ребра — відстань між ними. Зона накладання позначена як прямокутник, в середині якого знаходяться спільні зупинки маршрутів.

Алгоритм для створення спільного рівномірного розкладу на мові програмування Python може бути імплементований наступним чином:

Input: Перелік зупинок для кожної транспортної лінії, час прибуття на початкову зупинку

[1]: For всіх маршрутних лініях do

[2]: For всіх зупинках на маршруті do

[3]: створити порожній список для часів зупинок маршруту

[4]: встановити початковий час для першої зупинки згідно з

вхідними даними

[5]: For всіх наступних зупинок do

[6]: обчислити час для поточної зупинки, додаючи

рівномірний інтервал

[7]: додати час до списку для маршруту

[8]: повернути розклад для маршруту

Алгоритм обчислює часи прибуття на всі зупинки маршрутів, використовуючи заданий час для спільної зупинки та враховуючи задані інтервали часу.

Кроки вирішення задачі за допомогою жадібного підходу (greedy algorithm):

1. Визначити зону накладання двох маршрутів, обравши зупинки, де маршрути перетинаються.
2. Задати кількість автобусів за одним рейсом для кожного маршруту, визначивши інтервал часу між прибуттям кожного рейсу на зупинку.
3. Жадібним методом обрати ключову зупинку в зоні накладання маршрутів, ґрунтуючись на критеріях важливості (пасажиропотік, завантаженість тощо).
4. Визначити рівномірний розподіл прибуття автобусів на інші спільні зупинки, виходячи з інтервалу між рейсами та часу прибуття на ключову зупинку.
5. Оптимізувати час очікування пасажирів на спільних зупинках, створивши узгоджений графік руху для обох маршрутів.

Цільова функція мінімізує сумарний час очікування пасажирів, враховуючи ключову зупинку та рівномірний розподіл автобусів

$$\min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n T_j(k), \quad k = \arg \max_j P_j$$

де  $T_j$  час очікування, який залежить від вибору ключової зупинки та її розкладу,  $m, n$  кількість зупинок на кожному маршруті,  $P_j$  – важливість зупинки в зоні накладання. Умова  $|T_j - T_l| < \delta, \forall j \neq l$  забезпечує рівномірний розподіл прибуття автобусів, тобто відхилення від інтервалу на ключовій зупинці не повинно перевищувати  $\delta$ .

У цьому дослідженні для аналізу було обрано автобусні маршрути 32 та 12 у місті Луцьк. За обраними даними маршрути мають тривалість 56 та 57 хвилини відповідно, з 13 спільними зупинками рис. 3, що складають 30% від усередненої довжини маршрутів.

Маршрут А32 проходить через центральні вулиці міста Луцьк. Довжина маршруту складає 21,09 км, а вартість проїзду на момент проведення досліджень - 14 гривень. Маршрут має 49 зупинок. Поточний метод планування — обслуговування всіх зупинок, частота руху — 2 - 5 автобусів на годину за власним вибором перевізника. Маршрут А12 має довжину 19,76 км, вартість проїзду — 14 гривні, і він проходить через 51 зупинки. Поточний метод планування — обслуговування всіх зупинок, частота руху — 2 автобусів на годину. Відстань між зупинками та час у дорозі для цих маршрутів наведені в репозиторії GitHub [13] у Додатку 1.

Маршрути 32 та 12 мають зону накладання, яка проходить через центральну частину міста. Дані для експерименту були зібрані шляхом особистого спостереження у вечірній час (18:30–19:30) протягом однієї години. Протягом цього періоду на першій зупинці зони накладання – з. Драмтеатр – автобус №32 прибував у напрямку дослідження о 18:30, 18:52 та 19:13, тоді як автобус №12 прибув лише в 19:27.

Таблиця 1. Зупинки та час подорожі маршруту А32

№	Назва зупинки	Часовий інтервал (хвилини)
1	Вулиця Загородня	0
2	Облаківський	1
4	Гардарижний еліксир	1
5	Гардарижний став	3
5	Вулиця Сніва	2
6	Вулиця Мисливська	2
7	Вулиця Героївська 2	1
8	Вулиця Героївська	2
9	Луцькстасіон	1
10	ВІЕМ	1
11	Готель Луцький	1
12	Драмтеатр	1
13	Школа № 23	1
14	Сфери Ковалевської	1
15	Міська рада	1
16	Монди	2
17	ТЦ Гостинька	1
18	Площа Героїв Майдану	3
19	Себорності	2
20	Храм ІСХВ	1
21	Ванталіній район	1
22	Школа № 5	1
23	Історичний факультет	1
24	Річ Промінь	2
25	Туркостан	1
26	Драмтеатр	1
27	Кривий Вал	1
28	Майданстарт	1
29	Кришаний міст	1
30	Вулиця Іванова	1
31	Червоно Кресті	1
32	Школа № 2	1
33	Тубдиспансер	1
34	Поліція	1
35	Домашня	1
36	Гончарівка	1
37	Літун	1
38	Автошкола № 2	1
39	Світлана	1
40	Районні дитячі садочки	1
41	П. невідомий Солідар	2
42	Буддиспансер	1
43	Вулиця Рєвова	1
44	Карольова	1
45	Дитячий садок № 8	1
46	Школа № 16	1

Таблиця 2. Зупинки та час подорожі маршруту А12

№	Назва зупинки	Часовий інтервал (хвилини)
1	Нафтобаза	0
2	Вільнооблаківський	1
3	ЛІУР	1
4	Курбанова	1
5	Адріана Сті	1
6	Пролетаріат	1
7	40 квартал	1
8	Вулиця Героїв	1
9	Вулиця Крайова	1
10	Вулиця Гуденська	1
11	Північний район	1
12	Дитячий садок № 11	1
13	Школа № 23	1
14	ТЦ Гостинька	1
15	Монди	1
16	Міська рада	2
17	Сфери Ковалевської	1
18	Школа № 23	2
19	Драмтеатр	1
20	Готель Луцький	1
21	Електролінійний	1
22	Міська	1
23	Автомобільна	1
24	Київський майдан	1
25	Стадіон перетягнутий кроки	1
26	Вулиця Корольова	1
27	Обласна друкарня	1
28	Гімназія 4	1
29	Парк ім. Лєся Українки	1
30	Драмтеатр	1
31	Школа № 1	1
32	Міська рада	1
33	Дитячий садок № 2	2
34	Ковалевський	1
35	Бранковий міст	1
36	Електролінійний	1
37	Червоно Кресті	1
38	Літун	1
39	Тарасова	1
40	Школа № 2	1
41	Тубдиспансер	1
42	Поліція	1
43	Домашня	1
44	Гончарівка	1
45	Літун	1
46	Автошкола № 2	1
47	Світлана	1
48	Районні дитячі садочки № 1	1
49	Новий район	1
50	Міський ярмарок	1
51	Вільнобаза	1

Рисунок 3. Таблиці з розкладами для двох маршрутів з виділеними зонами накладання

У Додатку 2 на репозиторії GitHub [13] наведено зображення з навігаційної системи, які відображають фактичний рух автобусів. Ці дані використовуються для аналізу та оцінки ефективності поточного розкладу. З аналізу фото видно, що автобус №12 рухається нерівномірно за своїм маршрутом, що впливає на час очікування пасажирів у зазначеному напрямку.

Поточний розклад:

Максимальний час очікування: 21 хвилина

Мінімальний час очікування: 14 хвилин

Середній час очікування: 17,67 хвилин

Стандартне відхилення: 2,86 хвилини

**Формування розкладу.** Враховуючи рівномірний розподіл інтервалів між автобусами та той факт, що автобус №12 виконує додаткові рейси, можна запропонувати змінений розклад, згідно з яким автобус №12 прибуватиме на зупинку Драмтеатр о 18:40 та 19:03. Для вибору цих часів застосовуємо жадібний метод, що полягає у виборі найбільш оптимальних моментів для прибуття, які дозволяють зберегти рівномірні інтервали між рейсами.

У репозиторії GitHub [13] представлено весь код, реалізований мовою Python, з детальним покроковим описом кожного етапу. Це дозволяє відтворити розрахунки та аналіз, що використовуються в дослідженні. Спочатку визначаємо час відправлення автобусів із с. Липини (початкова зупинка маршруту), щоб забезпечити їх прибуття на з. Драмтеатр у зазначені моменти часу. Після об'єднання маршрутів отримуємо наступний графік руху:

Таблиця 1. Запропонований розклад для автобусів, згідно з яким автобус №12 прибуватиме на зупинку Драмтеатр о 18:40 та 19:03

Зупинка	Час прибуття
Вулиця Коперника	18:36, 18:59
Обласна друкарня	18:37, 19:00
Гімназія № 4	18:38, 19:01
Парк ім. Лесі Українки	18:39, 19:02
<b>Драмтеатр</b>	<b>18:40, 19:03</b>
Школа № 1	18:41, 19:04
Міська рада	18:42, 19:05
Департамент ЖКГ	18:43, 19:06

Для зручності програма може виділяти часи прибуття автобусів різними кольорами. Зокрема, коли автобус №32 прибуває на зупинку Драмтеатр, його час буде позначено зеленим кольором, а час прибуття



автобуса №12 — синім. Це допомагає візуально розрізняти розклади двох автобусів і дозволяє користувачам швидко знаходити відповідні часи прибуття, як показано нижче

Таблиця 2. Час прибуття автобусів на з. Драмтеатр. Зелений колір - час прибуття автобуса №32, синій колір- час прибуття автобуса №12

Час прибуття
19:05
19:13
19:27
19:36
19:48

Жадібний підхід застосовувався для мінімізації часу очікування. Спочатку розраховується середній час очікування та стандартне відхилення для рівномірного розподілу часу між автобусами. Потім проводяться корективи часу, і аналізується їхній вплив на результат, зокрема, на час очікування. Якщо зміна часу призводить до зменшення середнього часу очікування, зміни продовжуються до досягнення оптимального рішення.

В теорії графів, цей метод схожий на побудову мінімального основного дерева за допомогою жадібного підходу: на кожному кроці вибирається найменший ребро, що підключає нову вершину, з метою досягти оптимального результату в кінцевому підсумку.

### Результати дослідження

Запропоноване коригування дозволяє зменшити середній час очікування пасажирів майже на 30%, що сприяє підвищенню ефективності транспортного сполучення.

*Оптимізований розклад:*

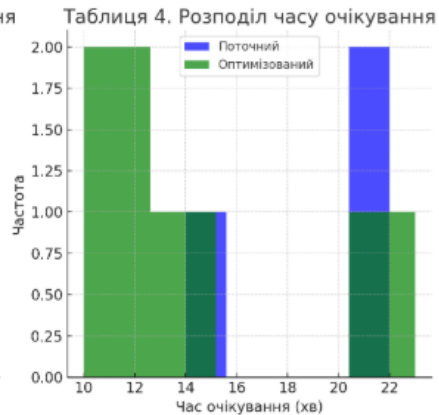
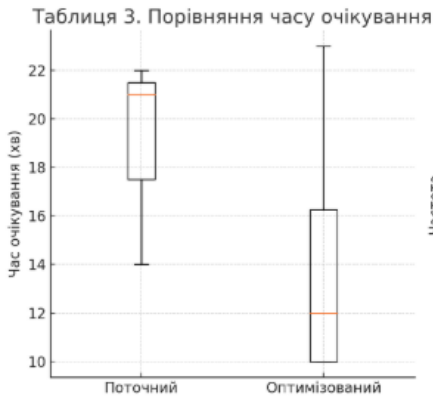
*Максимальний час очікування: 12 хвилин*

*Мінімальний час очікування: 10 хвилин*

*Середній час очікування: 10,75 хвилин*

*Стандартне відхилення: 2,75 хвилини*

Оцінки порівняння та розподілу часу очікування наведені можуть бути представлені у формі графіків



З таблиці 3 видно, що оптимізований розклад призводить до зменшення розкиду часу очікування. Максимальний час очікування знизився з 22 хвилин до 14 хвилин, а мінімальний залишився на рівні 10 хвилин. Це свідчить про більш рівномірний розподіл прибуття автобусів. Також зменшився середній час очікування та усунуті значні пікові затримки. Час очікування після оптимізації частіше набуває значень 10–14 хвилин, що значно покращує комфорт пасажирів, що видно з розподілу часу очікування в таблиці 4.

Статистичний тест (t-тест) для середнього часу очікування проведений для перевірки значущості результатів. Базуючись на часових інтервалах поточного розкладу та оптимізованого розкладу отримали наступні результати:

- t-статистика : 1.20
- p-значення : 0.285

Тобто, різниця між середніми часами очікування є статистично значущою на рівні значущості 30%.

**Обмеження моделі та напрями майбутніх досліджень.** Аналіз проводився на короткому часовому проміжку для ілюстрації основної ідеї. Результати демонструють потенціал оптимізації розкладу, однак для більш надійних висновків слід розглянути довший часовий інтервал. Хоча припущення, на яких базується наша модель оптимізації, дозволяють спростити задачу, вони можуть впливати на точність отриманих результатів.

Наприклад, припущення щодо рівномірного пасажиропотіку ігнорують потенційні коливання попиту, які можуть виникати залежно від часу доби, днів тижня або особливих подій. У реальних умовах пасажиропотік може бути змінним і потребує більш складних моделей для врахування таких варіацій.

Припущення, що автобуси не пропускають зупинок, може не відповідати реальним умовам, коли автобуси можуть бути змушені пропускати зупинки через аварійні ситуації, затори чи інші непередбачувані обставини.

Припущення про детермінованість процесу, яке не враховує випадкові фактори (наприклад, затори чи непередбачувані затримки), може значно спрощувати реальну ситуацію. Врахування випадкових змін може забезпечити більш реалістичну модель.

Зважаючи на ці обмеження, доцільно в майбутніх дослідженнях розглянути розширення моделі та враховувати змінний пасажиропоток, додавання можливості пропуску зупинок в екстремальних ситуаціях, що дозволить моделювати більш реалістичні умови. Можуть бути використані стохастичні моделі для моделювання випадкових затримок і змін у часі прибуття автобусів. Такі доповнення дозволять зробити модель більш точною та адаптованою до реальних умов.

### **Висновки**

У ході дослідження було застосовано жадібний алгоритм для оптимізації розкладу автобусних маршрутів №32 та №12. Отримані результати свідчать про значне зниження середнього часу очікування пасажирів на зупинках, що стало можливим завдяки зменшенню часу між прибуттями автобусів на спільні зупинки. Застосування цього підходу дозволило оптимізувати інтервали між автобусами, враховуючи перетини маршрутів, що сприяло більш рівномірному розподілу пасажиропотоку та зменшенню затримок на зупинках. Завдяки використанню Python для аналізу даних було підтверджено високий рівень ефективності запропонованої методики. Оновлений розклад дозволяє зменшити середній час очікування пасажирів у зоні накладання двох маршрутів майже на 30%.

### **Конфлікти інтересів**

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

### **Фінансування**

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

### **Доступність даних**

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

### **Використання штучного інтелекту**

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

## References

1. Volyn News. (2024). Uprodovzh roku mayzhe 200 skarh i zvernenn' Lutskrada nezadovolena ro. Available at: <https://www.volynnews.com/news/all/uprodovzh-roku-mayzhe-200-skarh-i-zvernenn-lutskrada-nezadovolena-ro/>
2. Lutsk City Council. (2024). Pereviznyk TOV "Best Lenad Hrup" otrymav poperedzhennia pro rozirvannia dohovoriv u razi vyavlennia povtornykh porushen. Available at: <https://www.lutskrada.gov.ua/publications/pereviznyk-tov-best-lenad-hrup-otrymav-poperedzhennia-pro-rozirvannia-dohovoriv-u-razi-vyavlennia-povtornykh-porushen>
3. Furth, P., & Day, B. (1985). Transit routing and scheduling strategies for heavy demand corridors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1011, 23–26.
4. Ibarra-Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R., & Muñoz, J. C. (2015). Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77, 38–75.
5. Ulusoy, Y. Y., & Chien, S. (2015). Optimal bus service patterns and frequencies considering transfer demand elasticity with a genetic algorithm. *Transportation Planning Technology*, 38(4), 409–424, DOI: 10.1080/03081060.2015.1026101.
6. Chiraphadhanakul, V., & Barnhart, C. (2013). Incremental bus service design: Combining limited-stop and local bus services. *Public Transport*, 5(1–2), 53–78.
7. Larrain, H., Muñoz, J. C., & Giesen, R. (2015). Generation and design heuristics for zonal express services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79, 201–212.
8. Ceder, A., Golany, B., & Tal, O. (2001). Creating bus timetables with maximal synchronization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(10), 913–928.
9. Marguier, P. H. J., & Ceder, A. (1984). Passenger waiting strategies for overlapping bus routes. *Transportation Science*, 18(3), 207–230.
10. Hassold, S., & Ceder, A. (2013). Public transport time-tabling based on maximum load points using multisize vehicles. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2352, 104–113.
11. Zhang, M., Yang, M., Lei, D., & Song, X. (2023). Bus scheduling of overlapping routes based on the combination of all-stop and stop-skipping services. *Transportation Research Record*, 2677(1), 49–59.
12. Clement, R., & Wren, A. (1995). Greedy genetic algorithms, optimizing mutations, and bus driver scheduling. *Computer-Aided Transit Scheduling, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 430, 213–235.
13. Samonenko, I. (2024). Effective bus scheduling for intersections in public transport. GitHub repository. Available at: <https://github.com/IngaSamonenko/effective-bus-scheduling/blob/main/effective-bus-scheduling.ipynb>

## Література

1. Волинь News. (2024). Упродовж року майже 200 скарг і звернень до Луцькрази щодо незадоволення розкладом. Доступно за посиланням: <https://www.volynnews.com/news/all/uprodovzh-roku-mayzhe-200-skarh-i-zvernenn-lutskrada-nezadovolena-ro/>
2. Луцька міська рада. (2024). Перевізник ТОВ "Best Lenad Hrup" отримав попередження про розірвання договорів у разі виявлення повторних порушень. Доступно за посиланням: <https://www.lutskrada.gov.ua/publications/pereviznyk-tov-best-lenad-hrup-otrymav-poperedzhennia-pro-rozirvannia-dohovoriv-u-razi-vyavlennia-povtornykh-porushen>

[best-lenad-hrup-otrymav-poperedzhennia-pro-rozirvannia-dohovoriv-u-razi-vyivlennia-povtomnykh-porushen](#)

3. Ферг, П., & Дей, Б. (1985). Маршрутизація та стратегія складання розкладу для коридорів з високим попитом. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1011, 23–26.

4. Ібарра-Рохас, О. Х., Дельгадо, Ф., Гізен, Р., & Муньюс, Х. К. (2015). Планування, експлуатація та контроль автобусних транспортних систем: огляд літератури. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77, 38–75.

5. Улусой, Й. Й., & Чієн, С. (2015). Оптимальні схеми автобусного обслуговування та частоти з урахуванням еластичності попиту на пересадки за допомогою генетичного алгоритму. *Transportation Planning Technology*, 38(4), 409–424, DOI: 10.1080/03081060.2015.1026101.

6. Чірафаданакул, В., & Барнхарт, К. (2013). Інкрементальний дизайн автобусного обслуговування: поєднання обмежених та місцевих автобусних маршрутів. *Public Transport*, 5(1–2), 53–78.

7. Ларрейн, Х., Муньюс, Х. К., & Гізен, Р. (2015). Генерація та розробка евристичних методів для зональних експрес-сервісів. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79, 201–212.

8. Цедер, А., Голані, Б., & Таль, О. (2001). Створення розкладів автобусів із максимальною синхронізацією. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(10), 913–928.

9. Маргюї, П. Х. Ж., & Цедер, А. (1984). Стратегії очікування пасажирів для перекриваючих автобусних маршрутів. *Transportation Science*, 18(3), 207–230.

10. Гассолд, С., & Цедер, А. (2013). Складання розкладу громадського транспорту на основі максимального завантаження з використанням транспортних засобів різної місткості. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2352, 104–113.

11. Чжан, М., Ян, М., Лей, Д., & Сун, С. (2023). Автобусне планування для перекриваючих маршрутів на основі комбінації сервісів із зупинками на всіх станціях та пропуском зупинок. *Transportation Research Record*, 2677(1), 49–59.

12. Клемент, Р., & Рен, А. (1995). Жадібні генетичні алгоритми, оптимізація мутацій та розклад водіїв автобусів. *Computer-Aided Transit Scheduling, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 430, 213–235.

13. Самоненко, І. (2024). Ефективне планування розкладів для автобусних маршрутів з перехрестями. *Репозиторій на GitHub*. Доступно за посиланням: <https://github.com/IngaSamonenko/effective-bus-scheduling/blob/main/effective-bus-scheduling.ipynb>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 11.03.2025	Received 11.03.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 23.05.2025	Received in revised form 23.05.2025
Прийнято 01.06.2025	Accepted 01.06.2025
Опубліковано 25.06.2025	Published 25.06.2025

## I.V.Samonenko

PhD (Statistics), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-3366-7894>

Department of Applied Mathematics and Mechanics

Lutsk National Technical University

75 Lvivska St., Lutsk, Ukraine, 43018

\*corresponding author, e-mail: [i.samonenko@lntu.edu.ua](mailto:i.samonenko@lntu.edu.ua)

## Effective schedule planning for bus routes with intersections

How to cite:

Samonenko, I. (2025). Effective schedule planning for bus routes with intersections. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 23, 250-263. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-22)

*Abstract. This paper examines the optimization of public transport schedules to reduce passenger waiting times and improve overall efficiency. Efficient scheduling is crucial in urban transportation, where delays and long headways lead to overcrowding and passenger dissatisfaction. Addressing these challenges requires advanced mathematical modeling and algorithmic approaches. During the research, various optimization techniques were explored, with particular emphasis on the greedy algorithm, initially considered due to its intriguing name. Despite its simplicity, this algorithm showed significant potential for solving scheduling problems by making locally optimal choices at each step. The implementation of this approach was analyzed and compared to traditional scheduling methods.*

*A key contribution of this study is the development of an optimization framework integrating the greedy algorithm into public transport scheduling. The proposed method enables efficient adjustment of bus arrival times and minimizes headways between consecutive vehicles. The implementation code plays a crucial role in supporting this framework, allowing real-time adjustments and optimized schedules. To validate the proposed approach, experimental testing was conducted on bus routes in Lutsk. Results showed a 30% reduction in average travel time compared to conventional scheduling. Optimized schedules also improved passenger distribution, reduced congestion, and enhanced service reliability. This research provides valuable insights for urban transport planning, highlighting the potential of algorithmic optimization. Future work may integrate dynamic demand fluctuations and multimodal transport networks to refine scheduling strategies.*

*In the Introduction section, we review the literature and state the aim and objectives; Materials and Methods describes the uncertainty assessment and numerical implementation; Results and Discussion presents the simulation statistics and a real-data example; the Conclusions highlight the universality and practical value of the proposed algorithm.*

*Keywords: bus scheduling, optimization, intersecting routes, mathematical modeling, transport logistics.*