

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний
(повне найменування факультету)

«Транспортні технології»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

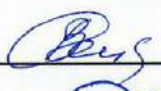
магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ КООРДИНАЦІЇ ТА СИНХРОНІЗАЦІЇ
РОЗКЛАДІВ РУХУ НА МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ МАРШРУТАХ
М. ЗАПОРІЖЖЯ

Виконав: студент II курсу, групи T-312м

Спеціальності 275 «Транспортні технології
(за видами)»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
275.03 «Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)»

	<u>Владислав СТРИЖКО</u> (прізвище та ініціали)
	<u>Олексій КУЗЬКІН</u> (прізвище та ініціали)
	<u>Олександр АРТЮХ</u> (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет _____ Транспортний _____
Кафедра _____ «Транспортні технології» _____
Ступінь вищої освіти _____ магістр _____
Спеціальність _____ 275 «Транспортні технології (за видами)» _____
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) 275.03 «Транспортні технології (на _____
автомобільному транспорті)» _____
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортні технології» _____

Сергій ТУРПАК

«01» листопада 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

СТРИЖКО Владислава Руслановича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження умов координації та синхронізації розкладів руху на міських автобусних маршрутах м. Запоріжжя

керівник проєкту (роботи) КУЗЬКІН Олексій Феліксович

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «21» листопада 2023 року №450

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 15 грудня 2023 р.

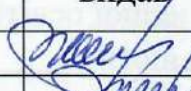
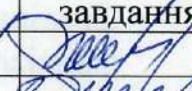
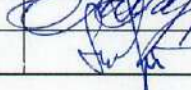
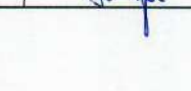
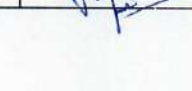
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) паспорти міських автобусних маршрутів загального користування № 17 «Арматурний завод – пр. 40-річчя Перемоги», 59 «вул. Чумаченка – Набережна» міста Запоріжжя, існуючі типи пасажирського рухомого складу на маршруті МАЗ 103, МАЗ 203, вартість проїзду 12,0 грн, існуючі техніко-економічні показники роботи автобусів на маршруті

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітична частина, 2. Основна частина, 2.1 Загальна характеристика мережі міського громадського транспорту Запоріжжя 2.2 Характеристика досліджуваних маршрутів. 2.3 Статистичний аналіз динаміки змінювання інтервалів руху на досліджуваних маршрутах та їх спільній ділянці. 2.4 Аналіз можливих варіантів узгодження розкладів руху автобусів на маршрутах. 3. Економічна частина. 4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Презентація магістерської роботи у форматі PowerPoint

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	КУЗЬКІН О.Ф., проф.		
2	КУЗЬКІН О.Ф., проф.		
3	ХАРЧЕНКО Т.В., старш. викл.		
4	ЛАЗУТКІН М.І., доцент		

7. Дата видачі завдання «01» листопада 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина	30.10.2023-06.11.2023	
2	Основна частина	07.11.2023-20.11.2023	
3	Економічна частина	21.11.2023-27.11.2023	
4	Охорона праці	28.11.2023-01.12.2023	
5	Оформлення МР, перевірка МР на плагіат, отримання зовнішніх рецензій, захист магістерських робіт	01.12.2023-25.01.2024	

Студент(ка)


(підпис)

Владислав СТІЖКО
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Олексій КУЗЬКІН
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 78 с., 10 табл., 10 рис., 1 дод., 10 джерел.

КООРДИНАЦІЯ, МАРШРУТ, РОЗКЛАД РУХУ, СИНХРОНІЗАЦІЯ,
СТАВКА ДИСКОНТУ, ТРИВАЛІСТЬ ОБОРОТУ, ПРИБУТОК

Об'єкт дослідження — маршрути міського масового пасажирського транспорту, а саме проблема координації розкладів руху міських автобусів на спільній ділянці двох маршрутів.

Мета дослідження — дослідження можливості підвищення ефективності роботи автобусів на маршруті та підвищення якості обслуговування пасажирів шляхом запровадження організаційних заходів, що дають можливість координувати розклади руху автобусів та зменшити тривалість очікування пасажирів на зупинках на спільній ділянці двох маршрутів.

Методи дослідження — аналітичні, економіко-математичне моделювання, методи теорії транспортних процесів і систем.

У магістерській роботі проведено дослідження ефективності та доцільності координації розкладів руху на двох міських автобусних маршрутах, що мають спільну ділянку значної довжини. Більш рівномірне прибуття автобусів на зупинку зменшує варіативність мережевого інтервалу руху, тим самим зменшуючи додатковий час очікування пасажира у зв'язку з цією варіативністю. Втім, для ефективної координації розкладів руху на маршрутах обов'язковою умовою є кратність інтервалів руху автобусів на маршрутах. У випадку якщо це не так, забезпечити кратність інтервалів маршрутів можна за рахунок варіювання інтервалів руху на маршрутах, що призводить до певних економічних збитків перевізника (перевізників). У даній роботі ця проблема розглянута з точки зору як перевізників, так і пасажирів за економічним критерієм.

ЗМІСТ

	с.
Завдання на магістерську роботу	2
Реферат	4
Вступ	7
1 Аналітична частина	8
1.1 Міський громадський транспорт і його роль у сучасному місті	8
1.2 Основні показники, які характеризують розвиток мережі міського громадського транспорту та його маршрутної системи	11
1.3 Задача координації руху на маршрутах, що мають спільну ділянку	17
1.4 Продуктивність рухомого складу на міському маршруті	20
1.5 Фактори, що зумовлюють можливість координації розкладів руху на міських маршрутах	24
1.6 Постановка завдань магістерської роботи	27
2 Основна частина	28
2.1 Загальна характеристика мережі міського громадського транспорту Запоріжжя	28
2.2 Характеристика досліджуваних маршрутів	31
2.3 Статистичний аналіз динаміки змінювання інтервалів руху на досліджуваних маршрутах та їх спільній ділянці	38
2.4 Аналіз можливих варіантів узгодження розкладів руху автобусів на маршрутах	45
3 Економічна частина	53
3.1 Розрахунок вартісних показників	54
3.2 Розрахунок натуральних показників	56
3.3 Розрахунок соціально-економічного ефекту	59
4 Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях	61
4.1 Аналіз потенційних небезпек	61
4.2 Заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях	63

Висновки	65
Перелік джерел посилання	66
Додаток А Лістинг програми розрахунку координації розкладів руху	67
Додаток Б Заходи по забезпеченню безпеки	71

ВСТУП

Міський масовий пасажирський транспорт відіграє велику роль у сучасних містах. Він забезпечує можливість пересування у межах міської території більшості мешканців, у тому числі тим, хто: 1) не бажає або не має можливості придбати власний автомобіль; 2) особам, яким з тих чи інших причин не можна керувати автомобілем (неповнолітні); 3) особам, які з фізичних причин не мають можливості керувати автомобілем (люди похилого віку, особи з особливими фізичними потребами, інваліди тощо).

Складність пересування у місті за допомогою громадського транспорту складається з часу підходу пасажирів на зупинку, часу очікування посадки у транспортний засіб та часу руху безпосередньо у салоні рухомого складу. Природно, що будь-який пасажир прагне мінімізувати цей час, оскільки він у більшості випадків використовується непродуктивно для людини.

Прагнення забезпечити пасажирів можливістю переміщення у будь-яку точку міської території за маршрутною системою організації руху призводить до утворення ділянок маршрутної мережі, які обслуговуються декількома маршрутами одночасно. У таких умовах одним з шляхів зменшення витрат часу пасажирів на очікування транспорту є координація розкладів руху на таких маршрутах з метою забезпечення якомога рівномірного прибуття транспортних засобів на зупинки. Така задача у випадку трьох або більше маршрутів може бути вирішена шляхом розв'язання складної оптимізаційної задачі, але допускає доволі просте рішення у разі лише двох маршрутів.

Втім, результат координації залежить від числової комбінації інтервалів (частоти) руху на таких маршрутах. Однак, маршрутна технологія роботи рухомого складу дозволяє у певних межах варіювання цих інтервалів. Дослідженню саме такої ситуації присвячена дана магістерська робота.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Міський громадський транспорт і його роль у сучасному місті

Міський громадський транспорт (МГТ) — це одна з складових інфраструктури сучасного міста, яка забезпечує його життєдіяльність. На думку фахівців-урбаністів саме стан розвитку міського громадського транспорту є одним з найважливіших показників, який характеризує якість життя у урбанізованих територіях. Громадським транспортом користуються як місцеві мешканці, так і транзитні пасажери, гості міста.

Система міського громадського транспорту є складною та включає в себе в якості окремих елементів транспортну мережу (множину міських вулиць та доріг, по яких можливий рух громадського транспорту); маршрутну мережу (сукупність окремих маршрутів, які прокладені транспортною мережею); рухомий склад МГТ, що є множиною транспортних засобів різних видів МГТ (автобуса, тролейбуса, трамвая, інших вуличних видів МГТ); клієнтів МГТ, якими є мешканці міста, вони ж є одночасно учасниками руху.

Транспортна мережа міста є унікальною для кожного з міст і залежить від схеми просторового транспортного планування міста (топології) з наявними на ній засобами управління та регулювання дорожнім рухом. Транспортна мережа повинна забезпечувати можливість автомобільного, пішохідного та пасажирського сполучення між усіма пунктами транспортного тяжіння міста (місця проживання людей, місця прикладення праці, адміністративні будівлі та заклади, пункти харчування та торгівлі, заклади освіти різних рівнів, заклади культурно-побутового обслуговування населення).

Маршрутна мережа є множиною окремих маршрутів МГТ, якими є прокладені транспортною мережею траси маршрутів різних видів транспорту. Маршрутна технологія транспортного обслуговування населення передбачає сталий рух пасажирського рухомого складу вздовж кожного маршруту за наперед заданим розкладом. Для забезпечення доступу пасажирів до послуг

МГТ на маршрутній мережі створюються зупинки, на яких відбувається пасажирообмін (вхід пасажирів до салону пасажирського рухомого складу та вихід з нього).

Рухомий склад, який забезпечує перевезення пасажирів на міських маршрутах, характеризується декількома параметрами, основними з яких є максимальна пасажиромісткість та технічна швидкість. Ці параметри визначають провідну спроможність маршруту і визначають кількість рухомого складу на маршруті з метод задоволення попиту пасажирів на перевезення з заданим рівнем якості обслуговування. На даний час на міських маршрутах використовується рухомий склад номінальною пасажиромісткістю від 22 до 100 пасажирів, пасажиромісткість трамвайних поїздів може сягати 250 пасажирів. Типовими значеннями технічної швидкості руху на маршрутах з урахуванням затримок, пов'язаних з наявністю заходів регулювання дорожнього руху є $v_T = 25 \dots 35$ км/год. Експлуатаційна швидкість руху на маршрутах, яка додатково враховує витрати часу на простій рухомого складу на проміжних та кінцевих зупинках для більшості маршрутів складає $v_e = 18 \dots 23$ км/год.

Як було зазначено вище, користувачами МГТ є мешканці та гості міста. Сукупність потреби у переміщеннях певної кількості мешканців міста утворює попит на пасажирські перевезення, а їх просторовий розподіл — пасажирські кореспонденції. Попит на пасажирські перевезення, як правило, є несталим і коливається протягом дня, залежить від дня тижня та сезону року. Пасажирські кореспонденції, кожна пара з яких є парою «пункт відправлення пасажирів — пункт призначення пасажирів», розподіляються територією міста нерівномірно і концентруються поблизу великих житлових масивів та підприємств та міських об'єктів як об'єктів тяжіння населення. Система МГТ повинна бути доступною для мешканців міста. Доступність системи МГТ у широкому розумінні — це можливість користатися його послугами. Серед причин, що зумовлюють неможливість цього, можуть бути як планувально-просторові (зупинки розташовані занадто далеко від місця

проживання, тривалість очікування транспорту є занадто великою), техніко-експлуатаційними (провідні спроможності маршрутів є недостатніми, через що виникають постійні відмови пасажирів у посадці, тривалість поїздки з використанням засобів МГТ є занадто великою) та економічними (вартість послуг МГТ є неприйнятною або занадто великою для пасажирів).

Важливим є також і екологічне значення МГТ. Громадський транспорт має значні переваги з точки зору екології, оскільки сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин та забруднення навколишнього середовища. Екологічне значення МГТ проявляється у таких аспектах:

- зменшення викидів діоксиду вуглецю: використання громадського транспорту допомагає зменшити кількість вуглекислого газу, який викидається в атмосферу. Одна поїздка громадським транспортом може замінити декілька поїздок автомобілем, що призводить до значного зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище;

- ефективне використання паливно-мастильних ресурсів: громадський транспорт дозволяє ефективніше використовувати ресурси, такі як вуглеводневе паливо та мастила, оскільки одночасно багато пасажирів можуть скористатися одним пасажирським транспортним засобом, що зменшує питоме споживання палива;

- зменшення забруднення повітряного басейну міста: використання громадського транспорту також сприяє зменшенню забруднення повітря, оскільки менша кількість автомобілів у разі користування громадянами МГТ будуть працювати у режимі холостого ходу або утворювати транспортні затори, що призводить до зменшення викидів шкідливих речовин у атмосферу;

- зменшення рівня шуму: громадський транспорт може також сприяти зменшенню шуму в місті, оскільки сучасний рухомий склад міського пасажирського транспорту має низький рівень шуму, що забезпечує йому перевагу перед середньостатистичним автомобілем, що є джерелом шуму, особливо під час перехідних періодів роботи двигуна (розгін, гальмування);

– сприяння сталому розвитку міста: зменшення викидів та забруднення атмосфери є важливими аспектами сталого розвитку сучасного міста, тому розвиток МГТ відповідно сприяє створенню більш екологічно чистого міського середовища.

Таким чином, належне функціонування МГТ та забезпечення потреб пасажирів у пересуваннях є важливою задачею, яку слід вирішувати органам місцевого самоврядування. Враховуючи складність та багатофакторність вирішуваних задач, до їх розв’язання широко використовують методи економіко-математичного і комп’ютерного моделювання.

1.2 Основні показники, які характеризують розвиток мережі міського громадського транспорту та його маршрутної системи

До транспортних мереж міського громадського транспорту висувається низка вимог, основними з яких є такі:

а) пропускна спроможність ділянок транспортної мережі та транспортна мережа в цілому повинні бути узгоджені з наявними величинами транспортних та пасажирських потоків у відповідності до попиту на користування мережею та перевезення пасажирів;

б) забезпечення мінімальних витрат часу пасажирів на підхід пасажирів до зупинок громадського транспорту та мінімальних витрат часу пасажирів на пересування з урахуванням непрямолінійності транспортних зв’язків;

в) мінімальна кількість конфліктних та небезпечних ділянок мережі та мінімальна кількість дорожньо-транспортних пригод на транспортній мережі, що забезпечує мінімальні втрати від них. у вартісному виразі.

У цій галузі діють Державні будівельні норми ДБН Б 2.2-12:2019 «Планування і забудова територій», які висувають низку вимог щодо транспортних мереж міського громадського транспорту, а саме:

— організація масового маршрутного транспорту у містах України з населенням понад 100 тис. мешканців повинна виконуватись на підставі комплексної схеми розвитку усіх наявних видів міського пасажирського транспорту у місті;

— фактичні види міського транспорту для обслуговування міської території обираються на підставі пасажиропотоків та середньої відстані поїздки пасажирів, при цьому їх провізна спроможність та провізна спроможність елементів міської пасажирської транспортної інфраструктури обирається виходячи з розрахункового наповнення салонів рухомого складу у 4 чол. на 1 м² вільної площі підлоги салону для традиційних видів міського пасажирського транспорту та 3 чол. на 1 м² вільної площі підлоги салону для швидкісних видів міського пасажирського транспорту. Орієнтовна провізна спроможність видів міського громадського транспорту обирається відповідно до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Орієнтовна провізна спроможність різних видів міського громадського транспорту

Вид міського пасажирського транспорту	Максимальна частота руху, од./год.	Кількість вагонів у складі поїзда	Провізна спроможність у години «пік», пас./год.	Середня швидкість сполучення, км/год.
Автобус звичайний	Визначається схемами та умовами руху	1	3,0 ... 5,0	18 ... 20
Автобус швидкісний / експресний		1	до 10	25 ... 30
Тролейбус	40	1	3,5 ... 4,8	18 ... 20
Трамвай	30	1 ... 2	6,0 ... 12,0	15 ... 20
Трамвай швидкісний	30	1 ... 2	10,0 ... 20,0	23 ... 30

— щільність мережі міського громадського транспорту на забудованій частині території міста повинна складати 1,5 ... 2,5 км/км². Щільністю маршрутної мережі називається відношення сумарної довжини міських вулиць та доріг, по яких прокладені маршрути МГТ L_m (км) до площі сельбищної (тобто такої, що знаходиться під забудовою) території міста $F_{сел}$ (км²), тобто

$$\delta = \frac{L_m}{F_{сел}}. \quad (1.1)$$

У будь-яких випадках слід забезпечувати нормативну тривалість підходу пасажирів до найближчих зупинок громадського транспорту, яка складає до 5,0 хвилин. У центральних частинах міст щільність транспортної мережі дозволяється збільшувати до 3,5 ... 4,0 км/км²;

— нормативна відстань підходу пасажирів до найближчих зупинок громадського транспорту на забудованій житловими будівлями території не повинна перевищувати 500 м, у разі організації зупинок з режимом роботи «на вимогу» нормативну відстань підходу слід зменшувати до 350 м. У районах малоповерхової садибної забудови нормативна відстань підходу пасажирів до зупинок збільшується до 600 м, у зонах промислової забудови до 400 м. Якщо відома щільність маршрутної мережі громадського транспорту, середня відстань підходу пасажирів до найближчої лінії МГТ може бути розрахована за формулою Зільберталя

$$l_{сер} = \frac{1}{3 \cdot \delta}. \quad (1.2)$$

Враховуючи, що здійснивши піший перехід до найближчої лінії громадського транспорту надалі пасажир здійснює піший перехід від точки підходу транспортної лінії до найближчої зупинки громадського транспорту,

середня відстань підходу пасажирів до найближчої зупинки МГТ може бути розрахована за формулою

$$l_{\text{підш}} = k_{\text{нп}} \left[\frac{1}{3 \cdot \delta} + \frac{l_{\text{пер}}}{4} \right], \quad (1.3)$$

де $k_{\text{нп}}$ – коефіцієнт непрямолінійності підходу пасажирів до зупинки, який враховує той факт, що пішохідний рух пасажирів у зоні міської забудови здійснюється не за найкоротшою відстанню. Зазвичай приймають $k_{\text{нп}} = 1,2$;

$l_{\text{пер}}$ – середня довжина перегону (відстань між суміжними зупинками) на міських маршрутах, км.

– відстань між суміжними зупинками у одному напрямку руху на маршрутах міського громадського транспорту повинна складати 250 ... 600 м у разі використання швидкісних видів міського пасажирського транспорту відстань між зупинками збільшується до 350 ... 1200 м в залежності від місцевих умов.

Іншою важливою характеристикою маршрутної мережі є, так званий, маршрутний коефіцієнт $K_{\text{м}}$, величина якого розраховується за формулою

$$K_{\text{м}} = \frac{\sum_i L_i}{L_{\text{м}}}, \quad (1.4)$$

де $\sum_i L_i$ – сумарна довжина усіх маршрутів, що утворюють маршрутну систему, км.

Маршрутний коефіцієнт показує, скільки кілометрів маршрутів припадає на один кілометр маршрутної мережі і, таким чином, характеризує ступінь дублювання маршрутів на ній. Для умов реального міста рекомендованими значеннями маршрутного коефіцієнту є $K_{\text{м}} = 2,5 \dots 4,0$ км/км. Наприклад, нехай на певній забудованій території площею $F_{\text{сел}} = 3,0$ км² (рисунк 1.1) утворена маршрутна мережа, що складається з двох маятникових маршрутів громадського транспорту (А – 1 – 2 – 3 – Б та В – 3 – 2 – 1 – Г), при

цьому довжина усіх перегонів між зупинками в обох напрямках маршруту є однаковою і складає $l_{\text{пер}} = 0,4$ км. Для цих умов сумарна довжина маршрутної мережі складає $L_{\text{м}} = 6 \cdot 0,4 = 2,4$ км, а довжина кожного з маршрутів МГТ, що складається з 4 перегонів дорівнює $L_{\text{AB}} = L_{\text{BГ}} = 4 \cdot 0,4 = 1,6$ км. Тоді маємо сумарну довжину усіх маршрутів на мережі $\sum_i L_i = 1,6 + 1,6 = 3,2$ км.

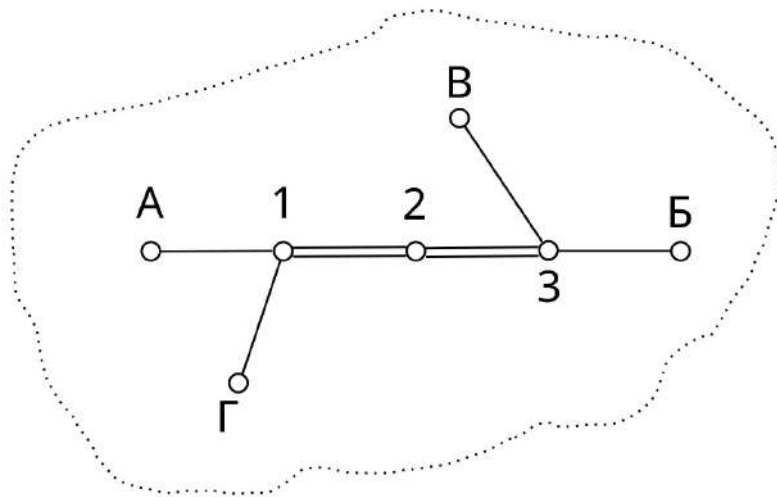


Рисунок 1.1 — Схема маршрутної мережі

У такому випадку маємо:

– щільність транспортної мережі

$$\delta = \frac{2,4}{3,0} = 0,80 \text{ км/км}^2;$$

– маршрутний коефіцієнт

$$K_{\text{м}} = \frac{3,2}{2,4} = 1,33;$$

– середня відстань підходу пасажирів до лінії МГТ

$$l_{\text{сер}} = \frac{1}{3 \cdot 0,8} \approx 0,42 \text{ км} = 420 \text{ м};$$

– середня відстань підходу пасажирів до зупинки

$$l_{\text{піш}} = 1,20 \cdot \left[0,42 + \frac{0,40}{4} \right] = 1,2 \cdot 0,52 = 0,624 \text{ м}.$$

Збільшення маршрутного коефіцієнту у більшості випадків призводить до збільшення кількості безпересадкових поїздок на маршрутній мережі. Втім, занадто високі значення маршрутного коефіцієнту призводять до збільшення мережевого інтервалу руху та, відповідно, до підвищення часу очікування пасажирів посадки у транспортні засоби на зупинках. З теорії міських пасажирських перевезень справедливе таке співвідношення

$$t_{\text{оч}} = \frac{2 \cdot K_{\text{м}} \cdot \delta \cdot F_{\text{сел}} \cdot \epsilon_{\text{тр}} \cdot \epsilon_{\text{піш}}}{N_{\text{рух}} \cdot v_{\text{е}}}, \quad (1.5)$$

де $\epsilon_{\text{тр}}$ – коефіцієнт відносних витрат часу пасажирів при пересуванні у салоні транспортного засобу, зазвичай приймається $\epsilon_{\text{тр}} = 1,0$;

$\epsilon_{\text{піш}}$ – коефіцієнт відносних витрат часу пасажирів при пішому підході до найближчої зупинки МГТ, зазвичай приймається $\epsilon_{\text{піш}} = 1,2$;

$N_{\text{рух}}$ – кількість транспортних засобів, що перебувають у русі для забезпечення заданого обсягу пасажирських перевезень, од.;

$v_{\text{е}}$ – середня експлуатаційна швидкість на маршрутній мережі МГТ, км/год.

З формули (1.5) видно, що тривалість очікування пасажирів на зупинці прямо пропорційна маршрутному коефіцієнту мережі та щільності транс-

портної мережі. Тож за високих значень маршрутного коефіцієнту на маршрутній мережі утворюються ділянки дублювання двох та більше маршрутів. Якщо знехтувати ситуаціями, коли салон транспортного засобу переповнений і виникають відмови у посадці пасажирів, для пасажирів, які на цій ділянці можуть скористатися будь-яким з маршрутів, тривалість очікування на прибуття транспортного засобу визначається мережевим інтервалом руху на множині альтернативних маршрутів та рівномірністю їх у часі у відповідності до формули

$$t_{\text{оч}} = \frac{H}{2} + \frac{\sigma_H^2}{2 \cdot H}, \quad (1.6)$$

де H – мережевий інтервал руху рухомого складу на спільній ділянці декількох маршрутів, хв;

σ_H – стандартне відхилення мережевого інтервалу руху рухомого складу на спільній ділянці маршрутів, що виражає рівномірність цього мережевого інтервалу, хв.

Таким чином, для мінімізації витрат часу пасажирів на очікування транспорту на спільній ділянці декількох маршрутів виникає задача узгодження (координації або синхронізації) розкладів руху на окремих маршрутах, що мають спільну ділянку певної довжини.

1.3 Задача координації руху на маршрутах, що мають спільну ділянку

Ділянки маршрутної мережі, по яких прокладені траси двох та більше маршрутів одночасно, виникають зазвичай на основних міських маршрутах, тобто маршрутах з великим обсягом пасажироперевезень та відносно невеликими інтервалами руху, особливо у години «пік». У таких умовах доцільним бачиться зробити такі припущення:

- пасажирів підходять до зупинки у випадкові моменти часу незалежно від моментів прибуття маршрутних транспортних засобів на зупинку;
- на спільній ділянці руху декількох маршрутів здійснюється диспетчерське регулювання руху транспортних засобів з метою забезпечення дотримання запланованих у розкладах інтервалів руху;
- інтервали руху на маршрутах, що мають спільну ділянку, у загальному випадку є різними, але вони є постійними протягом деякого достатньо тривалого проміжку часу (наприклад, протягом усього періоду годин «пік»). Крім того, припустимо тут що ці інтервали руху можуть набувати лише цілих значень, що відповідає реальним умовам та вимогам до розкладів руху на міських маршрутах.

Метою диспетчеризації руху рухомого складу на спільній ділянці декількох маршрутів є стабілізація моментів прибуття транспортних засобів різних маршрутів до зупинки координації, що є першою зупинкою на цій спільній ділянці. Слід зауважити, що така координація має сенс і спрямована, перш за все, на пасажирів, що можуть скористатися для поїздки на цій ділянці будь-яким з множини координованих маршрутів. Відповідно, така мета може бути досягнута шляхом забезпечення якнаймога рівномірного прибуття транспортних засобів різних маршрутів до зупинки координації.

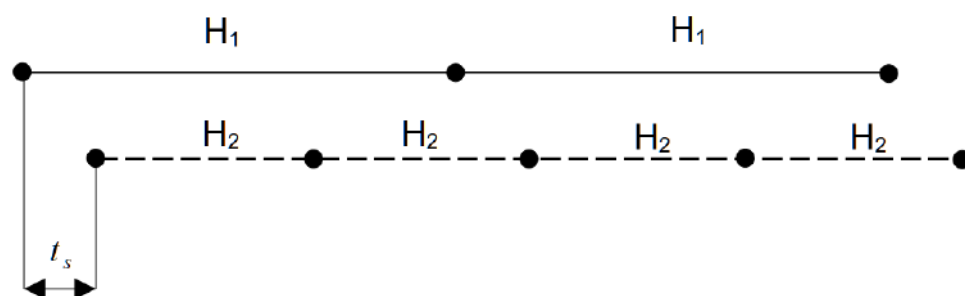


Рисунок 1.2 — Ілюстрація часового «зсуву» між моментами прибуття транспортних засобів різних маршрутів до зупинки координації

Така процедура синхронізації виконується дуже легко у разі, коли інтервали руху на усіх координованих маршрутах є однаковими, але суттєво ускладнюється у разі, якщо ці інтервали на координованих маршрутах відрізняються один від одного. Найбільш простою є координація розкладів руху, якщо спільною ділянкою проходять лише два маршрути (рисунок 1.2). У такому разі можливі такі ситуації.

В и п а д о к 1. Інтервали на двох маршрутах є однаковими, тобто $H_1 = H_2$, тоді маємо очевидний оптимальний розв'язок задачі: оптимальний зсув у часі для розкладів руху на цих маршрутах дорівнює $t_s = \frac{H_1}{2} = \frac{H_2}{2}$. Таке значення зсуву робить мережевий інтервал руху таким, що дорівнює половині маршрутних інтервалів руху $H = t_s$, стандартне відхилення між моментами прибуття рухомого складу до зупинки координації дорівнює $\sigma_H = 0$, а тривалість очікування пасажиром прибуття транспортного засобу дорівнює половині мережевого інтервалу руху $t_{оч} = \frac{H}{2}$ (рисунок 1.3).

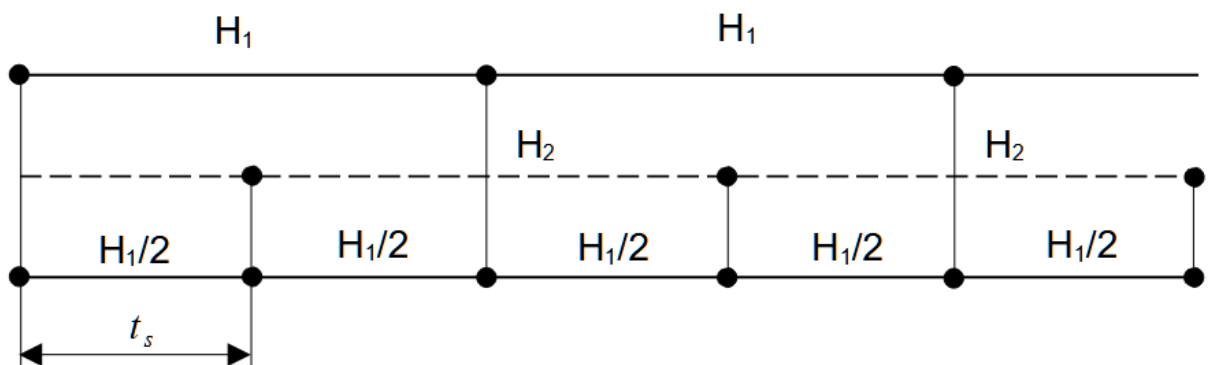


Рисунок 1.3 — Оптимальний розв'язок задачі координації у випадку гомогенних (рівних) інтервалів на маршрутах

Оптимальний розв'язок мінімізує значення виразу $S_0(t_s) = t_s^2 + (H - t_s)^2$, тож у цьому випадку ми маємо регулярне прибуття рухомого складу (РС) на зупинку, що є найкращим з можливих варіантів синхронізації розкладів руху

на двох маршрутах, що мають спільну ділянку. Зауважимо, що така координація не впливає на якість обслуговування пасажирів (з огляду на інтервали руху РС) на ділянках обох координованих маршрутів поза їх спільною ділянкою. У загальному випадку, якщо координованих маршрутів буде l , оптимальний розв'язок задачі координації буде виглядати як $t_s = \frac{H}{l}$, тобто кожен з координованих маршрутів буде зсунутий відносно попереднього на відповідну величину t_s .

Наприклад, якщо маємо два маршрути з однаковим інтервалом руху на кожному $H_1 = H_2 = 10$ хв., тоді оптимальний зсув часу прибуття РС на зупинку координації складає $t_s = \frac{H_1}{2} = \frac{10}{2} = 5$ хв., мережевий інтервал руху РС на спільній ділянці маршрутів дорівнює

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{H_1} + \frac{1}{H_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}, \text{ звідки } H = 5 \text{ хв.}$$

Враховуючи, що $\sigma_H = 0$, за формулою (1.6) маємо середню тривалість очікування пасажиром прибуття РС на зупинки спільної ділянки маршрутів $t_{\text{оч}} = \frac{H}{2} = \frac{5}{2} = 2,5$ хв.

Випадо к 2. Якщо інтервали на двох координованих маршрутах є різними, тобто $H_1 \neq H_2$, тоді кожен з них може бути представлений у вигляді: $H_1 = h_1 \cdot r$, $H_2 = h_2 \cdot r$ ($h_1, h_2 \in \mathbb{N}$). Тут r — ціле число, що є найбільшим спільним дільником h_1 та h_2 . У випадку, якщо $h_1 = 1$ (інтервал на другому маршруті H_2 є кратним інтервалові на першому маршруті H_1) або $h_2 = 1$ (інтервал руху на першому маршруті є кратним інтервалові руху на другому маршруті), оптимальний зсув розкладів руху на цих маршрутах у часі може бути поданий у вигляді

$$t_s = \frac{\min\{H_1, H_2\}}{2}. \quad (1.7)$$

Такий зсув розкладів руху на маршрутах у часі мінімізує значення виразу $S_0(t_s) = t_s^2 + (\min\{H_1, H_2\} - t_s)^2$, що є показником рівномірності прибуття РС на ділянці координації.

Зауважимо тут також, що у випадку $H_1 = H_2 = 2H$ ($h_1 = h_2 = 1$) ми отримуємо за (1.7) $t_s = \frac{H_1}{2} = \frac{H_2}{2} = H$, що збігається з вище розглянутим випадком 1.

Наприклад, якщо ми маємо два маршрути з інтервалами руху $H_1 = 4$ хв. та $H_2 = 12$ хв, вони можуть бути представлені у вигляді $H_1 = h_1 \cdot r = 1 \cdot 4 = 4$ хв, $h_2 = h_2 \cdot r = 3 \cdot 4 = 12$ хв. Відповідно, маємо $h_1 = 1$, $h_2 = 3$, $r = 4$ і інтервал руху H_2 є кратним інтервалу руху H_1 , оптимальний зсув у часі прибуття РС на зупинку координації за формулою (1.7) дорівнює

$$t_s = \frac{\min\{H_1, H_2\}}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ хв.}$$

Тривалість очікування пасажиром прибуття РС на зупинках спільної ділянки маршрутів у такому випадку підлягає розрахунку.

Випадок 3. Якщо інтервали руху на двох координованих маршрутах є різними, тобто $H_1 \neq H_2$, при цьому $h_1 \neq 1$ та $h_2 \neq 1$ та є взаємно простими числами, тоді оптимальним розв'язком буде часовий зсув між розкладами руху на цих маршрутах величиною $t_s = \frac{r}{2}$, який мінімізує наступний показник рівномірності прибуття РС на зупинку координації

$$S(t_s) = \sum_{i=0}^{n2-1} \{(t_s + i \cdot r)^2 + [H_2(t_s + i \cdot r)^2]\} . \quad (1.8)$$

У такому випадку можна дослідити циклічність ситуацій повторення послідовності інтервалів руху, яка виникає через $h_1 \cdot h_2$ хвилин. При цьому такий загальний розв'язок залишається вірним і у разі однакових (випадок 1) або кратних (випадок 2) інтервалів руху на маршрутах.

Таким чином, за рахунок оптимальної координації розкладів руху на маршрутах можна досягти більшої рівномірності прибуття РС на зупинки спільної ділянки маршрутів та зменшити тривалість очікування пасажирів.

Втім, як видно з виразу (1.8), у випадку $r = 1$, за припущення, що інтервали руху можуть мати лише цілі значення, оптимальне значення зсуву завжди є дробовим і дорівнює $t_s = 0,5$ хв. У такому випадку за будь-якого іншого цілочислового зсуву не можна досягти покращення рівномірності прибуття РС на зупинку координації. Однак, у такому випадку може бути доцільним зміна інтервалу руху на обох маршрутах або на одному з них таким чином, щоб досягти або умови $r \neq 1$ або умови $h_1 = 1$ або умови $h_2 = 1$. Оскільки зміна інтервалу руху на маршруті безпосередньо впливає на продуктивність РС на маршруті і на його провізну здатність необхідно дослідити вплив зміни інтервалу руху на ці величини.

1.4 Продуктивність рухомого складу на міському маршруті

Продуктивність рухомого складу на міському автобусному маршруті за оборот визначається за формулою

$$P_{об} = \frac{60 \cdot (Q_{AB} + Q_{BA})}{t_{об}}, \quad (1.9)$$

де Q_{AB} , Q_{BA} — кількість перевезених пасажирів на маршруті у прямому та зворотному напрямках, пас.;

$t_{об}$ — тривалість оборотного рейсу на маршруті, хв.

Тривалість оборотного рейсу на маршруті визначається за формулою

$$t_{об} = t' + t_{AB} + t'' + t_{BA}, \quad (1.10)$$

де t', t'' – тривалість міжрейсового відстоювання РС на кінцевих зупинках маршруту, хв.;

t_{AB}, t_{BA} – тривалість рейсу на маршруті у прямому та зворотному напрямках, хв.

Інтервал руху на міському маятниковому маршруті МГТ визначається як відношення тривалості обороту РС на маршруті до кількості РС на ньому, тобто

$$H = \frac{t_{об}}{N_{рс}}, \quad (1.11)$$

де $N_{рс}$ – кількість транспортних одиниць у русі на маршруті, од.

Необхідна кількість рухомого складу на міському маршруті для забезпечення заданого обсягу перевезень пасажирів на маршруті визначається за формулою

$$N_{рс} = \frac{F_{\max} \cdot t_{об}}{60 \cdot q_{рс}}, \quad (1.12)$$

де $F_{\max}$ – годинний пасажиропотік на найбільш пасажиронапруженому перегоні міського маршруту, пас./год;

$q_{рс}$ – максимальна пасажиромісткість використовуваного на маршруті рухомого складу, пас.

Таким чином, розрахунковий інтервал руху на міському маршруті на підставі пасажиропотоку на найбільш завантаженому перегоні маршруту та пасажиромісткості використовуваного на маршруті рухомого складу визначається за формулою

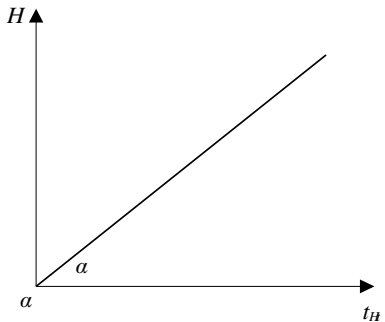
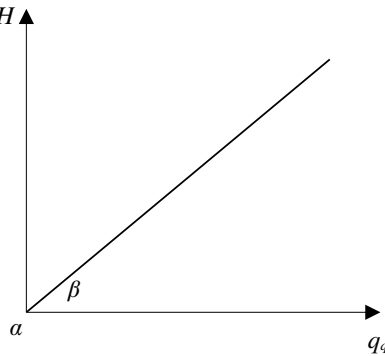
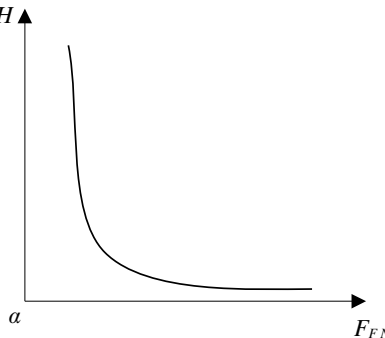
$$H = \frac{60 \cdot q_{рс}}{F_{\max}}, \quad (1.13)$$

Таким чином видно, що розрахунковий інтервал руху прямо залежить від пасажиромісткості використовуваного рухомого складу та тривалості

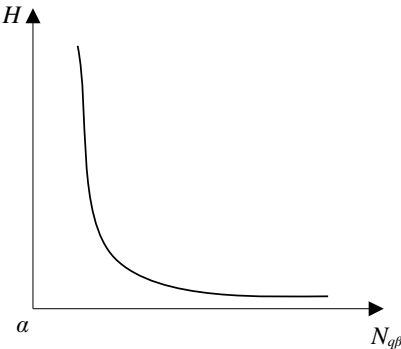
обороту на маршруті і зворотно залежить від пасажиропотоку на найбільш пасажиронапруженому перегоні маршруту та кількості рухомого складу, що його обслуговують. У той же час, продуктивність рухомого складу на міському маршруті зворотно залежить від тривалості оборотного рейсу.

У таблиці 1.2 наведені факторні залежності інтервалу руху на міському маршруті в залежності від експлуатаційних факторів.

Таблиця 1.2 — Залежність інтервалу руху на міському маршруті від експлуатаційних факторів

Інтервал руху на маршруті та його відносна зміна	Коефіцієнти	Характер залежності
1. $H = f(t_{об})$	$H = \alpha \cdot t_{об}$ $\alpha = \frac{1}{N_{pc}}$	
2. $H = f(q_{pc})$	$H = \beta \cdot q_{pc}$ $\beta = \frac{60}{F_{max}}$	
3. $H = f(F_{max})$	$H = \frac{\gamma}{F_{max}}$ $\gamma = 60 \cdot q_{pc}$	

Кінець таблиці 1.2.

Інтервал руху на маршруті та його відносна зміна	Коефіцієнти	Характер залежності
1. $H = f(N_{pc})$	$H = \frac{\theta}{N_{pc}}$ $\theta = t_{об}$	

При плануванні руху рухомого складу на міських маршрутах відрізняють технічну v_T , експлуатаційну v_e швидкості руху та швидкість сполучення v_c . При встановленні технічної швидкості враховують усі зупинки рухомого складу на маршруті, що пов'язані з технічними засобами регулювання дорожнього руху (зупинки перед регульованими та нерегульованими перехрестями, регульованими та нерегульованими пішохідними переходами). При встановленні експлуатаційної швидкості додатково враховуються усі зупинки рухомого складу, пов'язані зі здійсненням пасажирообміну на зупинках та міжрейсові відстої рухомого складу на кінцевих зупинках маршруту. Та ж величина, розрахована без врахування тривалості міжрейсових відстоїв рухомого складу на кінцевих зупинках маршруту, називається швидкістю сполучення. Відповідні формули для розрахунку згаданих вище швидкостей:

– технічна швидкість руху

$$v_T = \frac{l_M}{t_{рух}}, \quad (1.14)$$

де $l_M = \frac{1}{2}(l_{AB} + l_{BA})$ – довжина маршруту, яка визначається як середнє арифметичне довжин траси маршруту у його прямому та зворотному напрямках, км;

$t_{\text{рух}}$ – тривалість руху РС, включаючи час, що витрачається на затримки, пов'язані з організацією і регулюванням дорожнього руху, год.;

– швидкість сполучення

$$v_e = \frac{l_M}{t_p}, \quad (1.15)$$

де t_p – тривалість рейсу на маршруті, враховуючи час відстою РС на кінцевій зупинці маршруту, год.;

– експлуатаційна швидкість

$$v_e = \frac{2 \cdot l_M}{t_{\text{об}}}. \quad (1.16)$$

Відповідно, завжди є справедливою нерівність $v_T \geq v_c \geq v_e$, тобто технічна швидкість завжди ж більшою ніж експлуатаційна. На практиці типовими значеннями технічної швидкості на міських маршрутах є $v_T = 25 \dots 35$ км/год, у той час як значення експлуатаційної швидкості знаходиться у межах $v_e = 15 \dots 25$ км/год.

1.5 Фактори, що зумовлюють можливість координації розкладів руху на міських маршрутах

Як було зазначено вище, найкращим варіантом для координації розкладів руху на двох маршрутах, що мають спільну ділянку траси значної довжини, є варіант, коли розрахункові інтервали руху на обох маршрутах є однаковими. Однак, така ситуація можлива не завжди. У разі, коли інтервали руху на маршрутах відрізняються несуттєво можна, за рахунок збільшення або зменшення тривалості виконання оборотного рейсу досягти їх рівності у

певних межах. У таких випадках варійованою величиною виступає час між-рейсового відстою РС на кінцевих зупинках, який у будь-якому випадку може бути збільшений, але у жодному разі не може бути зменшений.

Таким же чином можна спробувати досягти кратності інтервалів руху на двох маршрутах, забезпечивши по можливості максимальне значення найбільшого спільного дільника для двох чисел, що представляють інтервали руху на цих маршрутах. Тут варто зауважити, що збільшення тривалості між-рейсового відстоювання рухомого складу завжди призводить до збільшення його непродуктивних простоїв, і, як наслідок, зменшення продуктивності РС на перевезеннях.

Ще одним родом обмежень, що ускладнюють можливість координації розкладів руху на маршрутах, є нерівність швидкостей сполучення на маршрутах, оскільки при цьому виникають ситуації, коли РС одного з маршрутів з більшою швидкістю сполучення випереджає на ділянці координації РС іншого маршруту. Це створює незручності для руху РС та пасажирів, призводить до нерівномірного навантаження на окремі одиниці РС обох маршрутів.

Нарешті, координації розкладів руху на маршрутах шляхом варіювання тривалістю їх обороту та міжрейсового відстоювання РС на кінцевих зупинках маршруту можуть заважати обмеження щодо режимів праці і відпочинку водіїв. В Україні такі вимоги встановлені Положенням про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів (затвердженим наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 07.06.2010 р. № 340, зі змінами). Основні положення цього документу стосовно міських пасажирських перевезень є такими:

- до робочого часу водія включається змінний період керування (сумарна тривалість періодів керування протягом робочого дня або робочої зміни водія); підготовчо-заклучний час (час для виконання певних робіт перед виїздом на маршрут та після повернення РС у транспортне підприємство. До таких робіт належать щоденний технічний огляд РС, підготовка транспортних та здавання транспортних документів та виторгу, тощо); три-

валість простоїв РС та водія не з вини останнього; загальний час простоїв РС на зупинках для здійснення пасажирообміну на маршруті; тривалість огляду водія лікарем перед виїздом на маршрут та після повернення з маршруту; тривалість виконання робіт з усунення технічних несправностей РС, що виникли безпосередньо при роботі на лінії;

- загальна нормальна тривалість робочого часу водіїв, що працюють на міських пасажирських перевезеннях, не повинна перевищувати 40 годин на тиждень;

- допускається встановлення шестиденного робочого тижня з одним вихідним днем, при цьому тривалість щоденного робочого дня водія не повинна бути більшою ніж 7 годин у звичайні дні та не повинна бути більшою ніж 5 годин для днів, що передують вихідному дню;

- якщо за певних умов, що є широко розповсюдженим на міських маршрутах, немає можливості забезпечити для водія щоденну нормативну тривалість робочого дня, допускається запровадження підсумованого обліку робочого часу, при цьому тривалість робочого дня без урахування часу перерв у роботі не може перевищувати 10 годин, а тривалість періоду керування не повинна перевищувати 56 годин на тиждень та 90 годин у двох тижнях поспіль;

- після неперервного керування протягом 4,5 годин водію повинна бути надана перерва для приймання їжі та відпочинку тривалістю не менш ніж 0,5 год. (це правило не застосовується у разі, коли за відповідним періодом керування безпосередньо починається період міжзмінного відпочинку). Така перерва може бути розділена на дві частини, перша з яких має тривалість не менше ніж 15 хвилин, а друга — тривалість не менше ніж 30 хвилин із дотриманням вимог щодо часу неперервного керування. При цьому час обідньої перерви, наданої у відповідності до зазначених вимог, не включається до робочого часу водія, а саму перерву водії можуть використовувати на свій власний розсуд. Максимальна тривалість обідніх перерв встановлюється згідно Законодавства України (зазвичай не більше ніж 2 години).

1.6 Постановка завдань магістерської роботи

Визнаючи важливість функціонування та розвитку міського громадського транспорту у місті та підвищення рівня його привабливості для користування мешканцями для здійснення щоденних пересувань, задача зменшення витрат транспортного часу МГТ для пасажирів є актуальною. Враховуючи, що маршрутні мережі МГТ у великих містах зазвичай мають ділянки, що є спільними для двох чи більше маршрутів, одним з шляхів зменшення тривалості очікування пасажирами на прибуття на зупинку маршрутного транспортного засобу є координація розкладів руху. Така координація ставить за мету максимальне збільшення рівномірності інтервалів руху РС різних маршрутів на їх спільній ділянці, наслідком чого є зменшення додаткового часу очікування пасажира, зумовленого нерівномірністю прибуття РС на зупинку.

У даній магістерській роботі передбачається вирішити такі завдання:

- дослідити існуючі розклади руху на міських автобусних маршрутах загального користування № 18 «Бородінський мкрн — 4-й Південний мкрн» та № 59 «вул. Чумаченка — Набережна» міста Запоріжжя, що мають спільну ділянку траси значної довжини;
- визначити фактичну потребу у рухомому складі на автобусних маршрутах № 18 та № 59 у відповідності до потужності пасажиропотоків з урахуванням якості обслуговування пасажирів;
- розробити розклади руху автобусів на маршрутах на маршрутах № 18 та № 59 та оцінити можливий ефект для пасажирів від їх координації;
- виконати економічне обґрунтування пропонованих заходів.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Загальна характеристика мережі міського громадського транспорту Запоріжжя

Місто Запоріжжя є шостим за чисельністю населення місто в Україні (станом на 01.01.2022 року кількість наявного населення у місті складала 710 тис. Мешканців) та великим індустріальним, історичним, освітнім та культурним центром. Місто розташовано на обох берегах річки Дніпро та займає площу близько 33 тис. Га (з них 19 Га є під забудовою), клімат району розташування міста є континентальним. Територіально місто розділено на 7 адміністративних районів: Комунарський, Олександрівський, Шевченківський, Вознесенівський, Заводський, Хортицький та Дніпровський. На території міста розташовані великі підприємства металургійної (ПАТ «Запоріжсталь», ПрАТ «Дніпроспецсталь», ПрАТ «Запоріжжкокс» та інші), машинобудівної (АТ «Мотор Січ», ПАТ «Запорізький автомобілебудівний завод», ПрАТ «Запоріжтрансформатор») та енергетичної галузі (Дніпровська ГЕС).

Масовий міський громадський транспорт у Запоріжжі представлений традиційними видами транспорту: автобусним (включаючи маршрутні таксі), тролейбусним та трамвайним видами транспорту. Всього станом на кінець 2023 року у місті функціонує маршрутна мережа МГТ, яку обслуговують 6 трамвайних, 6 тролейбусних та 71 автобусний маршрут (з маршрутами маршрутного таксі включно). Сумарна довжина маршрутної мережі міста складає 296,9 км, в тому числі довжина тролейбусної мережі 94,2 км, а трамвайної — 49,7 км. Сумарна довжина міських маршрутів складає 1470,8 км, щільність маршрутної мережі дорівнює $1,56 \text{ км/км}^2$, а її маршрутний коефіцієнт — $4,95 \text{ км/км}$.

На рисунку 2.1 показана мережа маршрутів міського тролейбуса, а на рисунку 2.2 — мережа маршрутів міського трамвая.



Рисунок 2.1 — Схема маршрутної мережі тролейбусів Запоріжжя

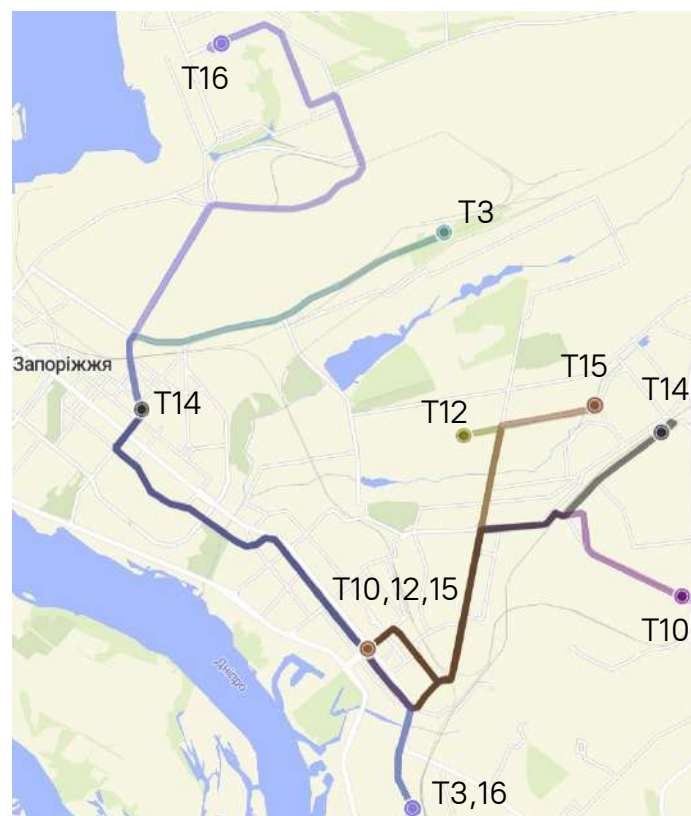


Рисунок 2.2 — Схема маршрутної мережі трамваїв Запоріжжя

Основні показники системи міського громадського транспорту міста Запоріжжя наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Основні показники розвитку маршрутної мережі міського громадського транспорту Запоріжжя

Показник		Значення показника
1. Загальна кількість маршрутів на мережі, од.		83
в тому числі	автобусних	71
	тролейбусних	6
	трамвайних	6
2. Загальна довжина маршрутної мережі міського громадського транспорту міста, км		296,9
3. Щільність маршрутної мережі, км/км ²		1,56
4. Маршрутний коефіцієнт в цілому по мережі, км/км		4,95
5. Середня відстань пішого підходу пасажирів до найближчої зупинки громадського транспорту, м		297
6. Середній час, що витрачається пасажиром на підхід до найближчої зупинки громадського транспорту, хв.		4,45

Виходячи з даних, наведених у таблиці 2.1 можна дійти висновку, що в цілому маршрутна мережа міста Запоріжжя має невелику щільність, втім, норматив витрат часу на пішу доступність зупинок МГТ, що встановлена не більше 5 хвилин, виконується. Щодо розвитку маршрутної мережі, то вона має занадто високе значення маршрутного коефіцієнту. Це, з одного боку, зменшує кількість пересадок пасажирів, але з іншого боку — призводить до зменшення маршрутних інтервалів руху та збільшення часу на очікування пасажирами посадки у транспортний засіб МГТ.

2.2 Характеристика досліджуваних маршрутів

Для дослідження можливості координації розкладів руху на маршрутах МГТ, що мають спільну ділянку траси значної довжини, оберемо два автобусних маршрута міста Запоріжжя:

- маршрут № 59 «вул. Чумаченка — Набережна»;
- маршрут № 17 «Арматурний завод — пр. 40-річчя Перемоги».

Схеми досліджуваних маршрутів наведені на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 — Схема міських автобусних маршрутів № 17 та № 59 міста Запоріжжя

Обидва маршрути обслуговуються одним і тим же типом рухомого складу — великими міськими автобусами МАЗ-103/203 пасажиромісткістю до 100 пасажирів, обидва маршрути обслуговуються одним і тим же транс-

портним оператором — Запорізьким комунальним підприємством міського електричного транспорту (ЗКМЕТ) «Запоріжелектротранс». Маршрути мають спільну ділянку траси між зупинками «Автовокзал» та «Бульвар Шевченка» довжиною 8,5 км з розташованими на цій спільній ділянці 13 зупинками. Дано передусім загальну характеристику кожному з маршрутів. Основні характеристики міських автобусних маршрутів № 59 та № 17 наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Основні характеристики міських автобусних маршрутів № 59 та № 17 міста Запоріжжя

Показник	Значення показника за напрямками руху			
	маршрут № 17		маршрут № 59	
	прямий напрямок	зворотний напрямок	прямий напрямок	зворотний напрямок
1. Довжина маршруту, км	25,5	25,9	15,7	16,2
2. Тривалість рейсу, хв.	85	82	55	55
3. Кількість зупинок, од.	41	40	27	27
4. Диспетчерські пункти, од.	1	1	1	1
5. Контрольні пункти, од.	5	5	5	5

Таким чином, довжина спільної ділянки маршрутів між зупинками «Автовокзал» та «Бульвар Шевченка» складає приблизно третину довжини маршруту № 17 та приблизно половину довжини маршруту № 59. На спільній ділянці знаходиться 32,5 % зупинок автобусного маршруту № 17 та 48,1 % зупинок автобусного маршруту № 59.

У таблиці 2.3 наведений розклад руху (по кінцевим зупинкам) для автобусного маршруту № 17, а у таблиці 1.4 — розклад руху для автобусного маршруту № 59. Розклади наведені для буднього дня тижня.

Таблиця 2.3 — Розклад руху на міському автобусному маршруті № 17 по будніх днях тижня

Арматурний завод		пр. 40-річчя Перемоги	
прибуття	відправлення	прибуття	відправлення
5:45	5:48		5:23
6:20	6:23		5:51
6:40	6:48		6:18
7:08	7:14		6:46
7:35	7:43	7:03	7:13
8:03	8:11	7:38	7:44
8:30	8:45	8:03	8:16
9:01	9:16	8:29	нульовий рейс
9:33	9:48	8:58	9:08
10:25	10:43	9:26	нульовий рейс
11:22	11:52	10:00	10:05
12:18	12:25	10:31	11:01
12:55	13:05	11:03	11:38
		11:58	12:28

Продовження таблиці 2.3.

Арматурний завод		пр. 40-річчя Перемоги	
прибуття	відправлення	прибуття	відправлення
13:45	13:52	13:07	13:13
14:30	14:34	13:40	13:49
15:06	15:11	14:20	14:23
15:40	15:47		14:48
16:05	16:14	15:07	15:16
16:33	16:48	15:49	16:11
17:01	17:15	16:26	15:44
17:28	18:01	17:02	16:51
18:08	18:40	17:29	17:31
18:48	19:18	18:03	нульовий рейс
19:50	19:58	18:30	18:33
20:36	20:47	19:16	нульовий рейс
21:16	21:21		19:19
21:58	нульовий рейс	19:55	19:59
		20:33	20:41
		21:13	нульовий рейс

Кінець таблиці 2.3.

Арматурний завод		пр. 40-річчя Перемоги	
прибуття	відправлення	прибуття	відправлення
		22:02	нульовий рейс
		22:36	нульовий рейс

Таблиця 2.4 — Розклад руху на міському автобусному маршруті № 59
по будніх днях тижня

вул. Чумаченка		Набережна	
прибуття	відправлення	прибуття	відправлення
	5:54	6:45	6:48
	6:19	7:10	7:13
	6:41	7:30	7:34
	7:04	7:55	8:01
	7:28	8:19	8:21
7:39	7:52	8:43	8:51
8:04	8:19	9:10	9:13
8:25	8:42	9:33	9:37
8:52	9:10	10:01	10:08
9:12	9:39	10:30	10:42
9:42	нульовий рейс	11:25	11:28

Продовження таблиці 2.4.

вул. Чумаченка		Набережна	
прибуття	відправлення	прибуття	відправлення
10:04	10:34	11:55	11:58
10:28	11:04	12:20	12:29
10:59	11:29	12:53	12:59
11:33	12:02	13:20	13:23
12:19	12:29	13:50	13:55
12:49	12:59	14:15	14:25
13:20	13:24	14:47	14:52
13:50	13:56	15:19	15:28
14:14	14:28	15:43	15:52
14:46	14:52	16:11	16:18
15:16	15:20	16:38	16:42
15:43	15:47	16:58	17:11
	16:07	17:21	17:38
16:19	16:30	17:45	18:03
16:43	16:54	18:09	18:25
17:09	17:18	18:49	18:54
17:33	17:58	19:06	19:16

Кінець таблиці 2.4

вул. Чумаченка		Набережна	
прибуття	відправлення	прибуття	відправлення
18:02	18:15	19:50	19:57
18:29	18:59	20:20	20:25
18:54	19:29	20:42	20:46
19:16	19:51	21:10	21:17
19:45	20:19	21:53	21:58
20:07	нульовий рейс		
20:48	21:02		
21:16	нульовий рейс		
21:37	нульовий рейс		
22:08	нульовий рейс		
22:49	нульовий рейс		

Як свідчить розклад руху, на маршруті № 17 «Арматурний завод — пр. 40-річчя Перемоги» у періоди максимального випуску працюють 8 одиниць рухомого складу. Виходячи з цього, мінімально можливий інтервал руху на маршруті № 17 протягом дня може складати

$$I_{\min}^{17} = \frac{t_{AB} + t_{BA}}{N_{\max}} = \frac{85 + 82}{8} = 20,8 \text{ хв.}$$

Аналогічно, на маршруті № 59 «вул. Чумаченка — Набережна» у періоди максимального випуску теж працюють 8 одиниць рухомого складу, при

цьому мінімально можливий інтервал руху автобусів на маршруті у години «пік» складає:

$$I_{\min}^{55} = \frac{t_{AB} + t_{BA}}{N_{\max}} = \frac{55 + 55}{8} = 13,75 \text{ хв.}$$

Втім, дотримання мінімально можливих інтервалів не є можливим через необхідність забезпечення часу на міжрейсові відстоювання автобусів на кінцевих зупинках (зазвичай не менше 3 хв., на практиці 5 ... 15 хвилин).

2.3 Статистичний аналіз динаміки змінювання інтервалів руху на досліджуваних маршрутах та їх спільній ділянці

Для розробки можливих варіантів узгодження розкладів руху автобусів на міських маршрутах № 17 та № 59 проведемо попередній статистичний аналіз динаміки змінювання інтервалів руху на маршрутах протягом доби. Використовуючи дані таблиць 2.3 та 2.4, визначимо інтервали відправлення автобусів з кожної з кінцевих зупинок маршрутів побудуємо графіки їх змінювання протягом доби (рисунки 2.4 та 2.5). Візуальний аналіз результатів свідчить про наявність яскраво виражених періодів «пік» на досліджуваних маршрутах, які тривають у ранковий час приблизно з 06:00 до 09:00, а у вечірній час з 15:00 до 19:00. У ці часові періоди доби інтервал руху на обох маршрутах є мінімальним, що відповідає максимальному попиту на перевезення з боку пасажирів у ці часові періоди.

Більш точно зробити порівняння динаміки змінювання інтервалів руху на маршрутах № 17 та № 59 можна за допомогою методів математичної статистики.

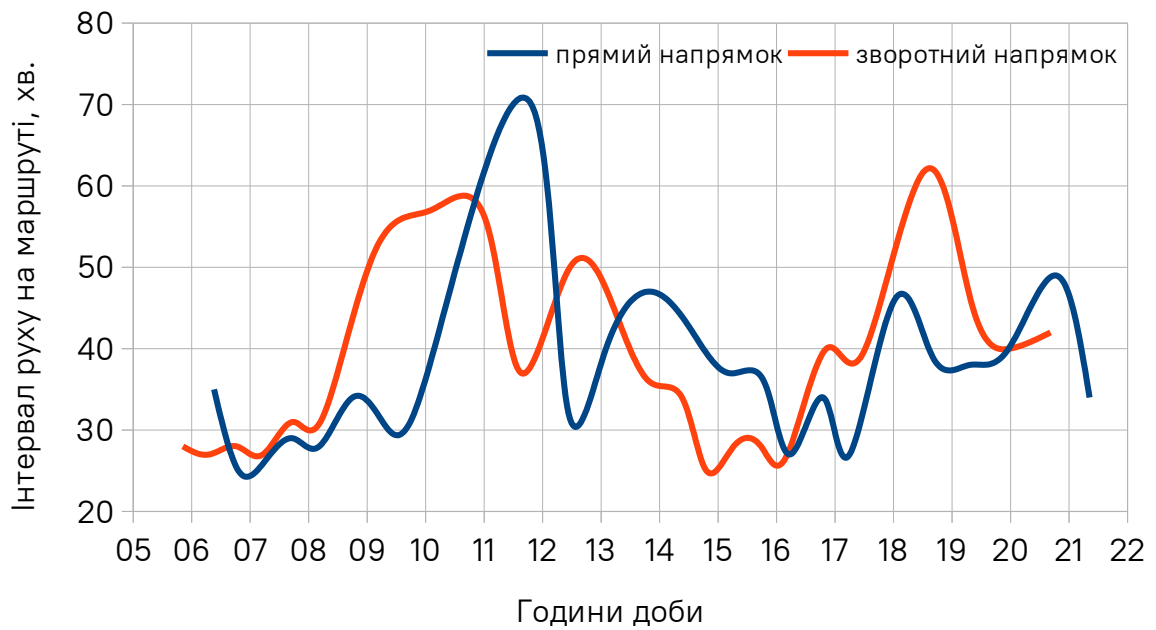


Рисунок 2.4 — Динаміка змінювання інтервалів руху на автобусному маршруті № 17 протягом буднього дня тижня



Рисунок 2.5 — Динаміка змінювання інтервалів руху на автобусному маршруті № 59 протягом буднього дня тижня

До основних статистичних показники динамічних рядів інтервалів руху на маршрутах відносяться: мінімальний $H_{\min}$, максимальний $H_{\max}$ та середній $\overline{H}$ інтервал руху на маршруті протягом заданого періоду доби (за добу, протягом годин «пік» та у міжпікові години доби), коефіцієнт варіації інтервалу руху, його стандартне відхилення та коефіцієнт нерівномірності.

Середнє значення інтервалу руху на маршруті протягом заданого часового проміжку розраховуємо за формулою

$$\overline{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}, \quad (2.1)$$

де H_i – значення інтервалу руху на маршруті, що потрапило до певного часового проміжку часу протягом доби, хв.;

n – загальна кількість інтервалів руху на маршруті, що потрапили до певного часового проміжку часу протягом доби.

Стандартне відхилення (скориговане) інтервалу руху на маршруті протягом доби протягом заданого часового проміжку розраховуємо за формулою

$$\sigma_H = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \overline{H})^2}{n - 1}. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт варіації інтервалу руху на маршруті ν та коефіцієнт його нерівномірності протягом доби k_H визначаються за формулами

$$\nu = \frac{\sigma_H}{\overline{H}}; \quad (2.3)$$

$$k_H = 1 + \nu. \quad (2.4)$$

Приймаємо тривалість ранкових годин «пік» з 06:00 до 09:00, вечірніх годин «пік» з 15:00 до 19:00, міжпіковий інтервал часу з 09:00 до 15:00. Результати розрахунків статистичних показників інтервалів руху на міських автобусних маршрутах № 17 та № 59 наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 — Статистичні показники інтервалів руху на маршрутах № 17 та № 59 протягом буднього дня тижня

Часові періоди доби	Значення статистичних показників інтервалів руху					
	$H_{\min}$, хв.	$H_{\max}$, хв.	$\overline{H}$, хв.	σ_H , хв.	ν	k_H
Маршрут № 17						
Ранковий пік	25	35	29,17	3,16	0,108	1,108
Міжпіковий час	31	69	44,93	11,40	0,253	1,253
Вечірній пік	25	62	35,87	9,82	0,274	1,274
Доба	25	69	37,78	10,43	0,276	1,276
Маршрут № 59						
Ранковий пік	20	30	24,25	2,80	0,115	1,115
Міжпіковий час	22	55	30,91	7,24	0,234	1,234
Вечірній пік	17	40	26,11	5,18	0,199	1,199
Доба	17	55	28,41	6,94	0,244	1,244

Враховуючи, що тривалість руху від кінцевих зупинок «Арматурний завод» (прямий напрямок) та «Набережна» (зворотний напрямок) до зупинки координації «Бульвар Шевченка» складає, відповідно 43 хв. та 6 хв., а тривалість руху від кінцевих зупинок «пр. 40-річчя Перемоги» (зворотний напрямок) та «вул. Чумаченка» (прямий напрямок) до зупинки координації «Автовокзал» складає, відповідно 15 хв. та 20 хв., визначимо динаміку та статистичні показники змінювання інтервалу руху на ділянці координації.

Для цього скористаємось розкладами руху, наведеними у таблицях 2.3 та 2.4, визначивши моменти прибуття автобусів згідно розкладу на першу зупинку спільної ділянки («Булвар Шевченка» та «Автовокзал»). Результат показаний графічно на рисунку 2.6, а статистичні показники динаміки змінювання інтервалу наведені у таблиці 2.6.

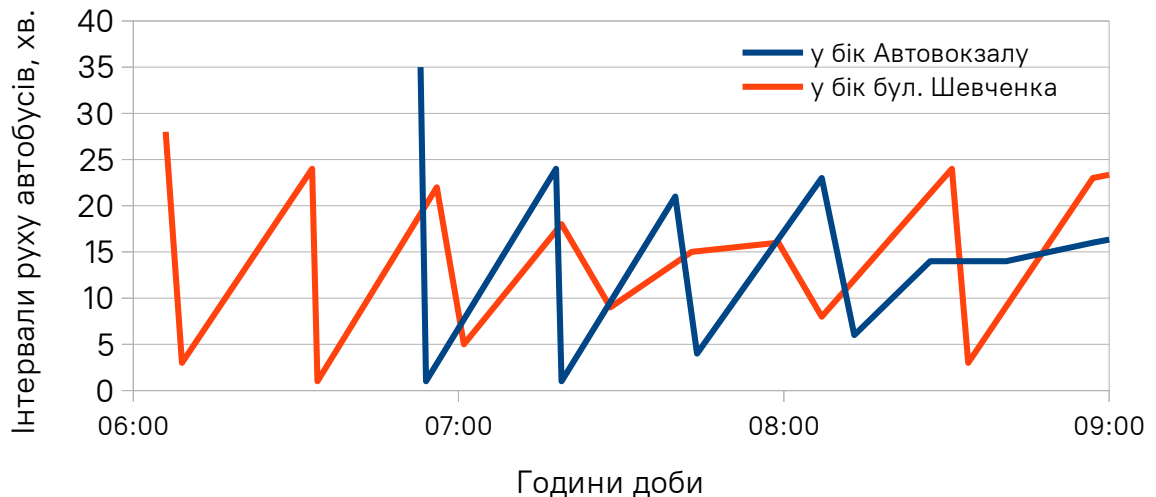


Рисунок 2.6 – Динаміка змінювання інтервалу руху автобусів на спільній ділянці маршрутів № 17 та № 59 у ранкові години «пік»

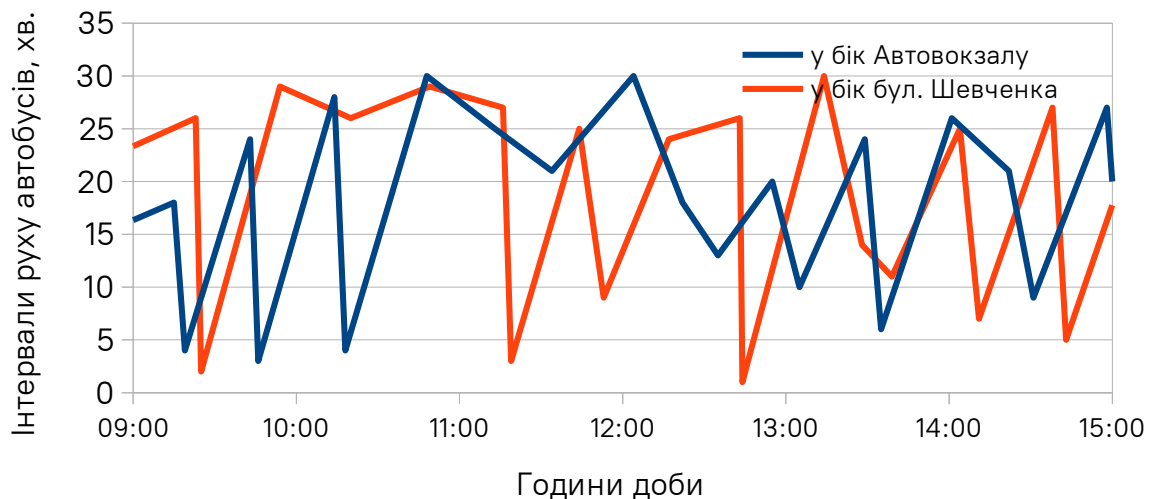


Рисунок 2.8 – Динаміка змінювання інтервалу руху автобусів на спільній ділянці маршрутів № 17 та № 59 у міжпікові години доби

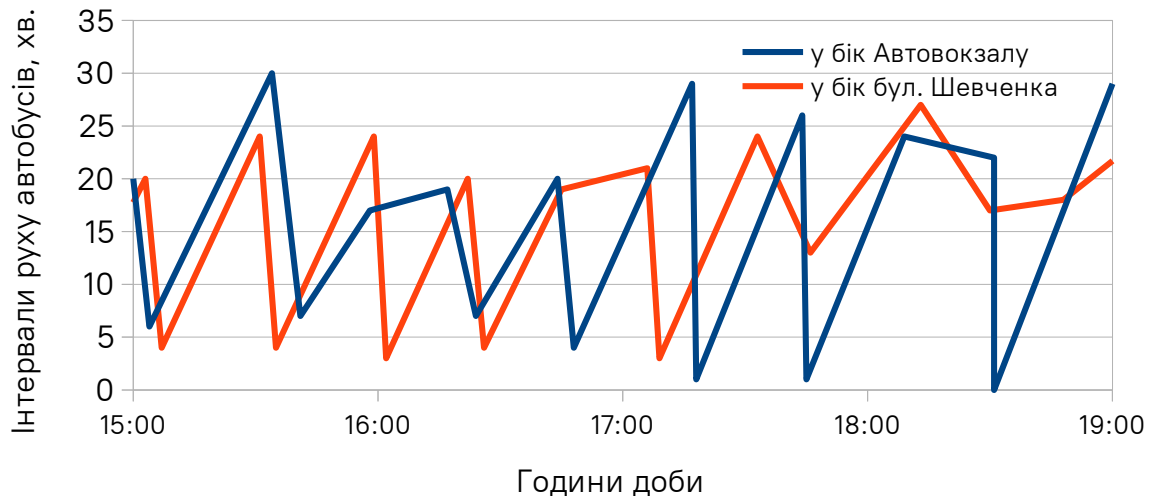


Рисунок 2.9 – Динаміка змінювання інтервалу руху автобусів на спільній ділянці маршрутів № 17 та № 59 у вечірні години «пік»

Таблиця 2.6 – Статистичні показники інтервалів руху автобусів на спільній ділянці маршрутів № 17 та № 59

Часові періоди доби	Значення статистичних показників інтервалів руху					
	$H_{\min}$, хв.	$H_{\max}$, хв.	$\overline{H}$, хв.	σ_H , хв.	ν	k_H
ділянка «Булвар Шевченка» – «Автовокзал»						
Ранковий пік	1	35	14,45	10,84	0,750	1,750
Міжпіковий час	3	30	18,05	9,19	0,510	1,510
Вечірній пік	0	30	14,20	10,87	0,766	1,766
Доба	0	35	16,31	9,84	0,603	1,603
ділянка «Автовокзал» – «Булвар Шевченка»						
Ранковий пік	1	28	14,21	9,25	0,651	1,651
Міжпіковий час	1	30	18,21	10,74	0,590	1,590
Вечірній пік	3	27	15,31	8,78	0,573	1,573
Доба	1	30	16,47	9,27	0,563	1,563

На підставі результатів розрахунків таблиці 2.6 за формулою (1.6) визначимо середній час очікування пасажирів на зупинці, що розташована на спільній ділянці двох маршрутів виходячи з припущення, що пасажир може скористуватися для поїздки кожним з них:

– у напрямку зупинки «Автовокзал»

1) у ранкові години «пік»

$$t_{\text{оч}} = \frac{14,42}{2} + \frac{10,84^2}{2 \cdot 14,42} = 7,21 + 4,07 = 11,28 \text{ хв.};$$

2) у міжпікові години доби

$$t_{\text{оч}} = \frac{18,05}{2} + \frac{9,19^2}{2 \cdot 18,05} = 9,02 + 2,34 = 11,36 \text{ хв.};$$

3) у вечірні години «пік»

$$t_{\text{оч}} = \frac{14,20}{2} + \frac{10,87^2}{2 \cdot 14,20} = 7,1 + 4,16 = 11,26 \text{ хв.};$$

– у напрямку зупинки «Бульвар Шевченка»

1) у ранкові години «пік»

$$t_{\text{оч}} = \frac{14,21}{2} + \frac{9,25^2}{2 \cdot 14,21} = 7,1 + 3,01 = 10,11 \text{ хв.};$$

2) у міжпікові години доби

$$t_{\text{оч}} = \frac{18,21}{2} + \frac{10,74^2}{2 \cdot 18,21} = 9,1 + 2,34 = 11,44 \text{ хв.};$$

3) у вечірні години «пік»

$$t_{\text{оч}} = \frac{15,31}{2} + \frac{8,78^2}{2 \cdot 15,31} = 7,15 + 2,52 = 9,67 \text{ хв.}$$

Аналіз результатів розрахунку свідчить, що у напрямку зупинки «Автовокзал» тривалість очікування пасажирів на зупинці в середньому складає 11,3 хв., причому це значення не залежить від величини інтервалу руху автобусів на спільній ділянці, у той час як у напрямку зупинки «Булвар Шевченка» тривалість очікування пасажирів на зупинках спільної ділянки маршрутів у години «пік» є меншою, ніж у міжпікові години доби приблизно на 10 %.

2.4 Аналіз можливих варіантів узгодження розкладів руху автобусів на маршрутах

Для вибору можливих варіантів координації визначимо можливі комбінації інтервалів руху на маршрутах № 17 та № 59 з урахуванням того, що на кожному маршруті у години максимального випуску може працювати $N_{\text{max}} = 8$ одиниць рухомого складу. Розрахунковий інтервал руху на маршруті визначається за формулою

$$H = \frac{t_{\text{об}}}{N_{\text{max}}} = \frac{t_{\text{AB}} + t_{\text{БА}} + t' + t''}{N_{\text{max}}}, \quad (2.5)$$

де t', t'' – тривалість міжрейсових відстоїв автобусів на кінцевих зупинках, хв.

Приймаємо мінімально можливе значення тривалості відстоювання автобусів на кінцевих зупинках маршрутів $t'_{\text{min}} = t''_{\text{min}} = 3,0$ хв., а макси-

мальне значення тривалості відстоювання автобусів на кінцевих зупинках маршрутів з огляду на необхідність забезпечення освоєння пасажиропотоків у години «пік» $t'_{\max} = t''_{\max} = 10,0$ хв. Розраховані значення інтервалів руху на маршрутах в залежності від змінювання величини тривалості обороту на маршруті за рахунок варіювання тривалістю відстоювання автобусів на кінцевих зупинках наведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 — Розрахункові інтервали руху на маршрутах в залежності від тривалості відстоювання автобусів на кінцевих зупинках

Маршрут № 17			Маршрут № 59		
$t' + t''$, хв.	$t_{об}$, хв.	H , хв.	$t' + t''$, хв.	$t_{об}$, хв.	H , хв.
6	173	21,6	6	116	14,5
10	177	22,11	10	120	15
15	182	22,75	15	125	15,6
20	187	23,38	20	130	16,25
25	192	24	25	135	16,88

Виходячи з розрахованих значень інтервалів руху таблиці 2.7 бачимо, що можливими комбінаціями інтервалів руху на маршрутах у період максимального випуску рухомого складу (ранкові та вечірні години «пік») є:

– варіант 1: на маршруті № 17 $H_{17} = 22$ хв., на маршруті № 59 $H_{59} = 16$ хв.;

– варіант 2: на маршруті № 17 $H_{17} = 24$ хв., на маршруті № 59 $H_{59} = 16$ хв.

Інші варіанти не розглядаємо через їх наперед видиму неефективність. Наприклад, варіанти з інтервалом руху на маршруті № 17 $H_{17} = 23$ хв. відкидаємо, оскільки це значення є простим і непарним числом. А варіант з інтервалами руху на маршрутах $H_{17} = 22$ хв. та $H_{59} = 15$ хв. не розглядає-

мо, оскільки ці два числа є взаємно простими, їх найбільший спільний дільник дорівнює $r = 1$ (див. підрозділ 1.3) та оптимальний зсув моментів прибуття автобусів на ділянку координат дорівнює $t_s = 0,5$ хв, який, очевидно, неможливо реалізувати виходячи з вимог цілочислових значень інтервалів руху на маршрутах.

Для оцінки можливого ефекту від координат розкладів руху автобусів на спільній ділянці маршрутів № 17 та № 59 розглянемо кожний варіант окремо.

Варіант 2.

Для випадку $H_{17} = 24$ хв, $H_{59} = 16$ хв. маємо $r = 8$, оптимальне значення часового зсуву моментів прибуття автобусів на зупинку координат складає $t_s = \frac{r}{2} = \frac{8}{2} = 4,0$ хв. Для умовного моменту часу прибуття першого автобуса на зупинку координат $t = 0$ маємо:

– моменти прибуття на зупинку координат автобусів маршруту № 17

$$t_{17} = [0, 22, 44, 66, 88, 110, 132, 154, 176, 198];$$

– моменти прибуття на зупинку координат автобусів маршруту № 59

$$t_{59} = [3, 19, 35, 51, 67, 83, 99, 115, 131, 147, 163, 179, 195];$$

– моменти прибуття на зупинку координат автобусів маршрутів № 17 та № 59

$$t_{17,59} = [0, 3, 19, 22, 35, 44, 51, 66, 67, 83, 88, 99, 110, 115, 131, 132, 147, 154, 163, 176];$$

– мережевий інтервал руху автобусів на спільній ділянці маршрутів

$$H = [3, 16, 3, 13, 9, 7, 15, 1, 16, 5, 11, 11, 5, 16, 1, 15, 7, 9, 13];$$

– середній мережевий інтервал руху складає $\overline{H} = 9,26$ хв;

– стандартне відхилення мережевого інтервалу руху на зупинці координатії дорівнює $\sigma_H = 5,26$ хв.;

– середня тривалість очікування пасажирів на зупинці координатії за формулою (1.6) дорівнює $t_{оч} = 6,12$ хв.

Варіант 1.

Для випадку $H_{17} = 22$ хв, $H_{59} = 16$ хв. маємо $r = 2$, оптимальне значення часового зсуву моментів прибуття автобусів на зупинку координатії складає $t_s = \frac{r}{2} = \frac{8}{2} = 4,0$ хв. Для умовного моменту часу прибуття першого автобуса на зупинку координатії $t = 0$ маємо:

– моменти прибуття на зупинку координатії автобусів маршруту № 17

$$t_{17} = [0, 24, 48, 72];$$

– моменти прибуття на зупинку координатії автобусів маршруту № 59

$$t_{59} = [4, 20, 36, 52, 68];$$

– моменти прибуття на зупинку координатії автобусів маршрутів № 17 та № 59

$$t_{17,59} = [0, 4, 20, 24, 36, 48];$$

– мережевий інтервал руху автобусів на спільній ділянці маршрутів

$$H = [4, 16, 4, 12, 12];$$

– середній мережевий інтервал руху складає $\overline{H} = 9,6$ хв;

– стандартне відхилення мережевого інтервалу руху на зупинці координатії дорівнює $\sigma_H = 5,37$ хв.;

– середня тривалість очікування пасажирів на зупинці координатії за формулою (1.6) дорівнює $t_{оч} = 6,3$ хв.

Для спрощення наведених вище розрахунків та дослідження залежності середньої тривалості очікування пасажирів на зупинці в залежності

від часового зсуву розкладів руху на автобусних маршрутах, що мають спільну ділянку, розробимо комп'ютерну програму RouteCoordination мовою програмування Python у середовищі LiClipse (рисунк 2.10). Блок-схема програми наведена на рисунку 2.11.

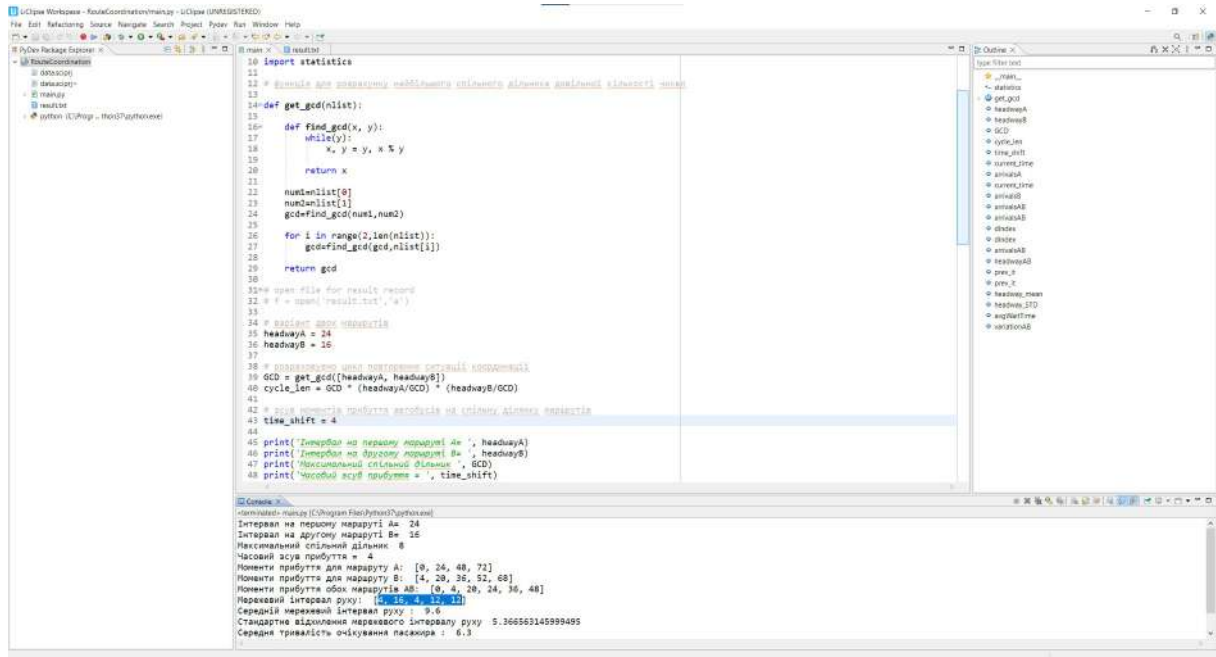


Рисунок 2.11 — Загальний вигляд середовища програмування LiClipse

Алгоритм роботи програми є лінійним. Опишемо його основні блоки.

Блок 1. Функція пошуку найбільшого спільного дільника заданої множини чисел (GCD). Вхід: список цілих чисел, для яких необхідно знайти найбільший спільний дільник. Вихід: значення найбільшого спільного дільника заданих чисел.

Блок 2. Введення значень інтервалів руху на маршрутах: headwayA та headwayB. Інтервали руху на маршрутах повинні бути цілими числами, відмінними від нуля.

Блок 3. Розрахунок найбільшого спільного дільника інтервалів руху на маршрутах GCD та циклу повторення суперпозиції інтервалів руху cycle_len.

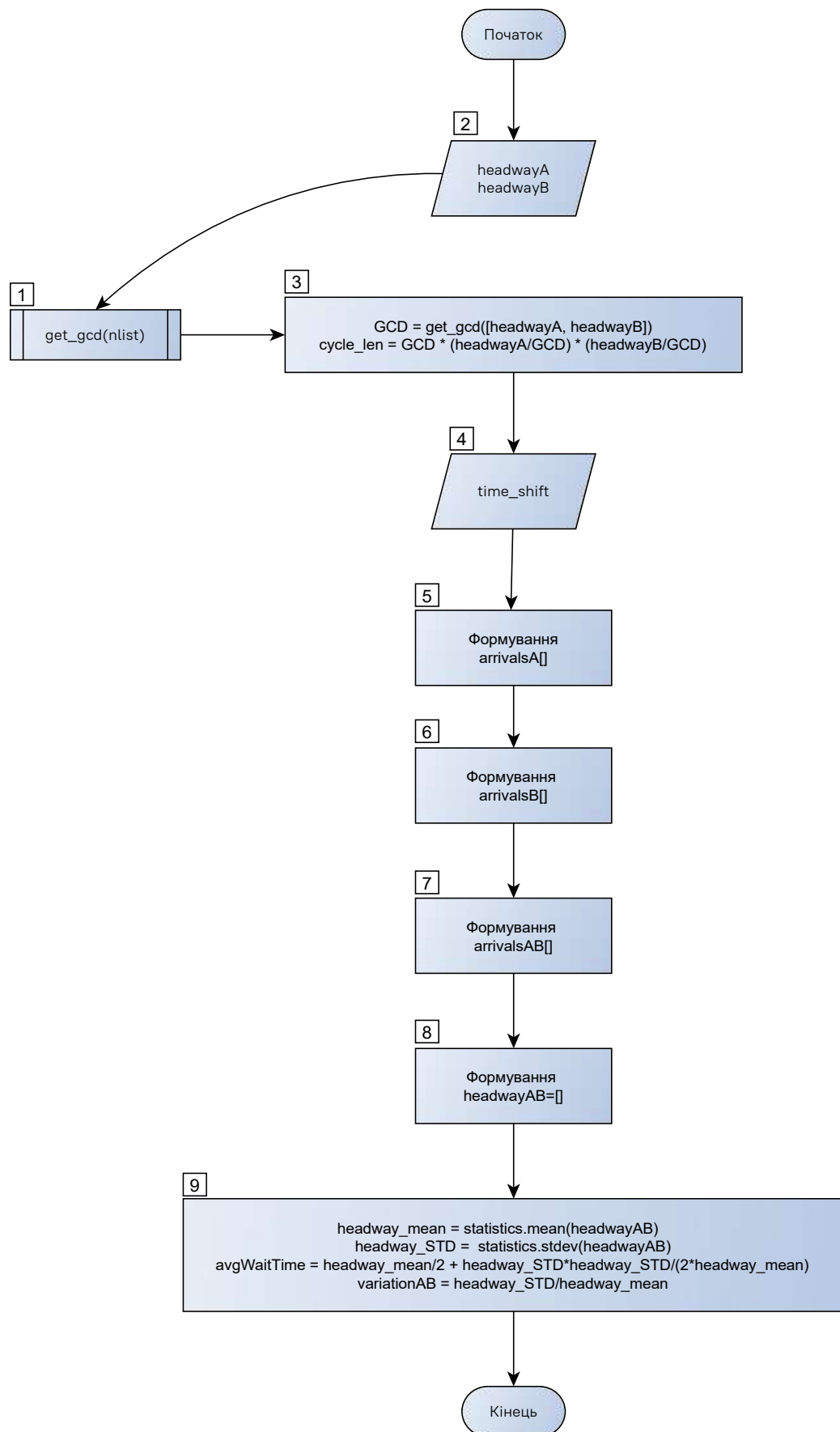


Рисунок 2.11 — Блок-схема програми розрахунку тривалості очікування
пасажирів на спільній ділянці двох маршрутів

Блок 4. Задання величини часового зсуву розкладів руху автобусів на ділянці координаті `time_shift`.

Блок 5. Формування списку моментів прибуття автобусів першого маршруту до ділянки координаті.

Блок 6. Формування списку моментів прибуття автобусів другого маршруту до ділянки координаті.

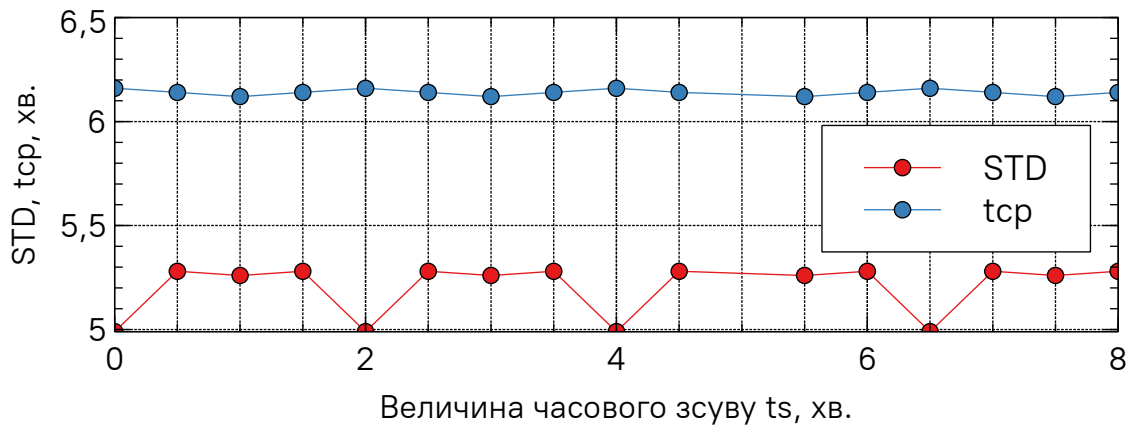
Блок 7. Об'єднання списків моментів прибуття автобусів обох маршрутів, визначення моментів прибуття автобусів обох маршрутів до ділянки координаті шляхом сортування об'єднаного списку, виключення зі списку дублювання моментів прибуття на зупинку одночасно автобусів обох маршрутів.

Блок 8. Формування списку інтервалів прибуття автобусів до ділянки координаті розкладів руху на маршрутах.

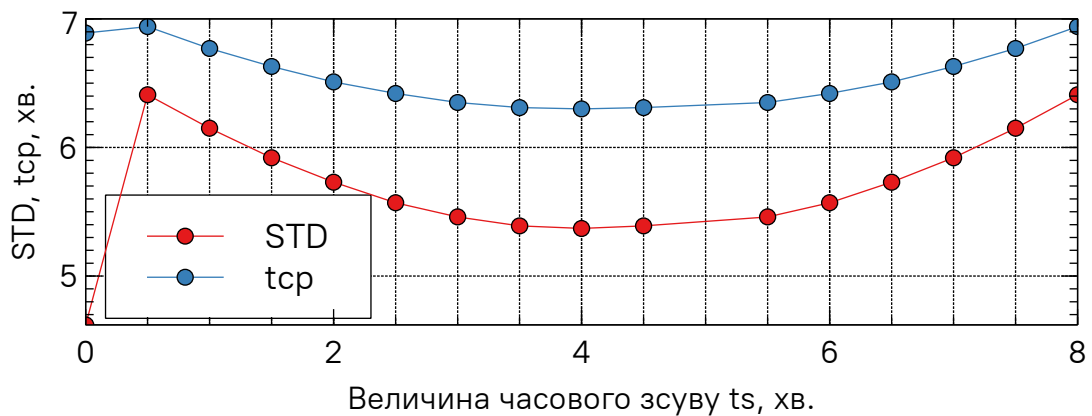
Блок 9. Розрахунок результатів розрахунку: списків моментів прибуття автобусів кожного маршруту на зупинку, списку моментів прибуття автобусів обох маршрутів на зупинку, списку значень мережевого інтервалу руху, середнього значення мережевого інтервалу руху та його стандартного відхилення, середнього значення очікування пасажирів на зупинці координаті та коефіцієнт варіації мережевого інтервалу руху.

Текст програми наведено у додатку А.

За допомогою програми `RooteCoordination` дослідимо змінювання величини стандартного відхилення мережевого інтервалу руху та середньої тривалості очікування пасажирів на зупинці, що належить спільній ділянці двох маршрутів за варіантами 1 та 2 від величини часового зсуву розкладів руху на цих маршрутках. Крок змінювання часового зсуву приймаємо рівним $\Delta t_s = 0,5$ хв., максимальне значення величини часового зсуву приймаємо рівним половині меншого з інтервалів руху серед наявних маршрутів, тобто $t_{s \max} = 16$ хв. Результати показані графічно на рисунку 2.12, а для першого варіанту координаті та на рисунку 2.12, б для другого варіанту координаті.



а)



б)

Рисунок 2.12 — Графіки залежності стандартного відхилення мережевого інтервалу руху та середньої тривалості очікування пасажирів від величини часового зсуву розкладів руху на маршрутах

Таким чином, за обома варіантами можливе скорочення тривалості очікування пасажирів на маршруті за рахунок координації розкладів руху. У порівнянні з існуючими некоординованими розкладами руху на маршруті середня тривалість очікування пасажирів у години «пік» може бути зменшена на 4 ... 5 хвилин. Економічна доцільність координації та вибір кращого з двох розглянутих варіантів буде встановлена у економічній частині магістерської роботи.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В результаті координації розкладів руху на міських автобусних маршрутів № 17 «Арматурний завод – пр. 40-річчя Перемоги» та № 59 «вул. Чумаченка – Набережна» міста Запоріжжя на спільній ділянці траси цих маршрутів від зупинки «Бульвар Шевченка» до зупинки «Автовокзал» кількість оборотних рейсів за добу (будні дні року) не змінюється, при цьому збільшується тривалість простою автобусів на кінцевих зупинках маршруту (витрати перевізника збільшуються) та зменшується час очікування пасажирів, що користуються цими автобусними маршрутами на їх спільній ділянці.

Соціально-економічний ефект від впровадження координованого розкладу руху автобусів на маршрутах № 17 та № 59 знайдемо за формулою

$$E = C_{\text{б}} - C_{\text{пр}} , \quad (3.1)$$

де $C_{\text{б}}, C_{\text{пр}}$ – соціально-економічні витрати, відповідно, за існуючим та пропонуваними варіантами організації руху автобусів на маршрутах.

Річні соціально-економічні витрати розраховуємо за формулою

$$C = c_{\text{аг}} \cdot T_{\text{а}} + c_{\text{пг}} \cdot T_{\text{п}} , \quad (3.2)$$

де $c_{\text{аг}}$ – вартість однієї години простою автобуса на кінцевій зупинці при роботі на маршруті, грн.;

$T_{\text{а}}$ – загальна річна тривалість простою автобусів на кінцевих зупинках протягом ранкових та вечірніх годин «пик», год.;

$c_{\text{пг}}$ – умовна вартість години очікування пасажира на зупинці, грн.;

$T_{\text{п}}$ – сумарна річна тривалість очікування пасажирів на зупинках спільної ділянки маршрутів протягом годин «пик», год.

3.1 Розрахунок вартісних показників

Вартість години простою автобусів на кінцевій зупинці знайдемо за формулою

$$c_{ag} = c_{зп} + c_a + c_n, \quad (3.3)$$

де $c_{зп}$ – заробітна плата водія, основна і додаткова з відрахуваннями до фондів соціального страхування (єдиний соціальний внесок), грн/год.;

c_a – амортизаційні відрахування на відновлення рухомого складу, грн/год;

c_n – інші (накладні) витрати, грн./год;

Заробітну плату водія знаходимо за формулою

$$c_{зп} = c_{гт} \cdot k_{дод} \cdot k_{ітр} \cdot k_{есв}, \quad (3.4)$$

де $c_{гт}$ – годинна тарифна ставка водія автобуса, грн. Для водіїв автобусів МАЗ-103, МАЗ-203 підприємства ЗКПМЕТ «Запоріжелектротранс» встановлено $c_{гт} = 68,12$ грн/год.;

$k_{дод}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату водія (доплати за класність, премії за виконання плану по виторгу, оплату відпусток). Приймаємо в середньому по підприємству $k_{дод} = 1,43$;

$k_{ітр}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на заробітну плату інженерно-технічних працівників та службовців підприємства, $k_{ітр} = 1,15$;

$k_{есв}$ – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок, $k_{есв} = 1,22$.

Годинна заробітна плата водія автобуса під час простою автобуса на кінцевих зупинках складає

$$c_{зп} = 68,12 \cdot 1,43 \cdot 1,15 \cdot 1,22 = 136,67 \text{ грн./год.}$$

Амортизаційні відрахування на рухомий склад у годинному виразі розраховуємо за формулою

$$c_a = \frac{B \cdot a}{100 \cdot T_p}, \quad (3.5)$$

де B – балансова вартість автобуса МАЗ-103, МАЗ-203, грн. Приймаємо за даними підприємства в середньому $B = 2196000$ грн;

a – річна норма амортизаційних відрахувань, %. Для групи основних фондів «транспортні засоби» при прямолінійному методі нарахування та терміні служби 5 років приймаємо $a = 20$ %;

T_p – річний фонд робочого часу, відпрацьованого автобусами на маршруті, год. Приймаємо в середньому у відповідності до розкладів руху на маршрутах № 17 та № 59 $T_p = 5247$ год.

Годинні амортизаційні відрахування складуть

$$c_a = \frac{2196000 \cdot 20}{100 \cdot 5247} = 83,70 \text{ грн.}$$

Інші (накладні) витрати приймаємо у розмірі 40 % від суми витрат на заробітну плату та амортизаційні відрахування, тож

$$c_n = 0,4 \cdot (c_{зп} + c_a) = 0,4 \cdot (136,67 + 83,70) = 88,15 \text{ грн.}$$

Таким чином, годинні витрати на простій автобуса на кінцевій зупинці маршруту дорівнюють

$$c_{ар} = 136,67 + 83,70 + 88,15 = 308,52 \text{ грн./год.}$$

Умовну вартість години очікування пасажирів на зупинці, оскільки цей час використовується непродуктивно, будемо оцінювати виходячи з середньої заробітної плати працівника у місті. За даними головного управління статистики

в Запорізькій області (<https://www.zp.ukrstat.gov.ua/>) річний середньодушовий дохід населення за 2021 рік (на 2022 рік даних ще не наведено) склав 5968 грн. на одну особу. У розрахунку на 1 годину часу витрати пасажира на очікування транспорту на зупинці можна оцінити величиною

$$c_{\text{пг}} = \frac{5968 \cdot 12}{365 \cdot 24} = 8,18 \text{ грн/год},$$

де 12, 24 та 365 відповідно кількість місяців у році, кількість годин у добі та кількість діб у році.

3.2 Розрахунок натуральних показників

Загальну річну тривалість простою автобусів на кінцевих зупинках протягом ранкових та вечірніх годин «пік» у будні дні тижня розраховуємо для кожного з маршрутів за формулою

$$T_a = \frac{n_{\text{бд}} \cdot n_{\text{об.п.}} \cdot t_0}{60}, \quad (3.6)$$

де $n_{\text{бд}}$ – кількість будніх днів тижня протягом року, за 2023 рік маємо $n_{\text{бд}} = 260$ днів;

$n_{\text{об.п.}}$ – кількість оборотних рейсів, що виконуються на маршрутах протягом ранкових та вечірніх годин «пік» буднього дня тижня;

t_0 – середня тривалість простою автобуса на маршруті на кінцевих зупинках маршруту за один оборот протягом ранкових та вечірніх годин «пік», хв.

Розрахунки загальної річної тривалості простою автобусів на кінцевих зупинках маршрутів виконуємо на підставі розкладів руху автобусів за існуючим та пропонованими варіантами. Результати розрахунку зводимо до таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Розрахунок річної тривалості простою автобусів на кінцевих зупинках протягом годин «пік» будніх днів тижня

Показник	Значення показника за варіантами та маршрутами					
	існуючий		пропонований 1		пропонований 2	
	A 17	A 59	A 17	A 59	A 17	A 59
1. Добова кількість оборотних рейсів за ранковий «пік»	6,5	7,0	6,5	7,0	6,5	7,0
2. Добова кількість оборотних рейсів за вечірній «пік»	6,5	10,0	6,5	10,0	6,5	10,0
3. Сумарна добова кількість оборотних рейсів за години «пік»	13	17	13	17	13	17
4. Середня тривалість простою автобуса за оборот протягом рейсу у години «пік», хв.	12,5	12,6	14,2	14,5	17,5	17,1
5. Сумарний річний простій автобусів на кінцевих зупинках, год.	703,6	927,5	799,3	1067,3	985,1	1258,7
Разом, год.	1631,1		1866,6		2243,8	

Сумарну тривалість очікування пасажирів на зупинках за варіантами знайдемо за формулою

$$T_{\Pi} = \frac{n_{\text{бд}} \cdot A \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot t_{\text{оч}}}{60}, \quad (3.7)$$

де A – добовий обсяг перевезень пасажирів на маршруті протягом буднього дня тижня, пас.;

δ_1 – частка пасажирів від їх перевезеної за добу кількості, що припадає на ранкові та вечірні години «пік»;

δ_2 – частка пасажирів від їх перевезеної за добу кількості, що скористалися для поїздки (увійшли та вийшли з автобуса) маршрутами № 17 та № 59 на їх спільній ділянці траси між зупинками «Бульвар Шевченка» та «Автовокзал»;

$t_{\text{оч}}$ – середня тривалість очікування пасажиром на прибуття автобуса на спільній ділянці трас автобусних маршрутів № 17 та № 59, хв.

Значення A , δ_1 та δ_2 приймаємо за даними обстеження пасажиропотоків, значення $t_{\text{оч}}$ – за результатами розрахунків основної частини.

За даними обстеження пасажирських потоків (грудень 2021 року), добовий обсяг перевезень пасажирів на маршруті № 17 склав $A = 6556$ пас., з яких у сумарно у ранкові та вечірні години «пік» перевезено $\delta_1 = 44,2 \%$ пасажирів. Частка пасажирів за години «пік», яка скористалася маршрутом № 17 для поїздки на ділянці між зупинками «Бульвар Шевченка» та «Автовокзал» в обох напрямках склала $\delta_2 = 18,7 \%$.

Добовий обсяг перевезень пасажирів на маршруті № 59 склав $A = 8667$ пас., з яких у сумарно у ранкові та вечірні години «пік» перевезено $\delta_1 = 41,5 \%$ пасажирів. Частка пасажирів за години «пік», яка скористалася маршрутом № 59 для поїздки на ділянці між зупинками «Бульвар Шевченка» та «Автовокзал» в обох напрямках склала $\delta_2 = 23,4 \%$.

Таким чином, сумарна тривалість очікування пасажирів маршрутів № 17 та № 59 на ділянці координації за рік складає:

– за існуючим варіантом

$$T_{\text{п}} = \frac{260 \cdot (6556 \cdot 0,442 \cdot 0,187 + 8667 \cdot 0,415 \cdot 0,234) \cdot 10,53}{60} = 63131 \text{ год.};$$

– за першим пропонованим варіантом

$$T_{\text{п}} = \frac{260 \cdot (6556 \cdot 0,442 \cdot 0,187 + 8667 \cdot 0,415 \cdot 0,234) \cdot 6,12}{60} = 36691 \text{ год.};$$

– за другим пропонованим варіантом

$$T_{\text{п}} = \frac{260 \cdot (6556 \cdot 0,442 \cdot 0,187 + 8667 \cdot 0,415 \cdot 0,234) \cdot 6,3}{60} = 37770 \text{ год.}$$

3.3 Розрахунок соціально-економічного ефекту

Розраховуємо соціально-економічні витрати за формулою (3.2) за існуючим (розклади руху на маршрутах № 17 та № 59 не координовані) та пропонованими (розклади руху на маршрутах № 17 та № 59 координовані) варіантами:

– існуючий варіант

$$C_0 = 308,52 \cdot 1631,1 + 8,18 \cdot 63131 = 503227 + 516412 = 1019639 \text{ грн.};$$

– перший пропонований варіант

$$C_1 = 308,52 \cdot 1866,6 + 8,18 \cdot 36691 = 575883 + 300132 = 876015 \text{ грн.};$$

– другий пропонований варіант

$$C_2 = 308,52 \cdot 2243,8 + 8,18 \cdot 37770 = 692257 + 308959 = 1001216 \text{ грн.}$$

Таким чином бачимо, що найменші соціально-економічні витрати досягаються за першого варіанту координації розкладів руху на маршрутах.

Річний соціально економічний ефект від впровадження організаційних заходів з координації розкладів руху на міських автобусних маршрутах № 17 та № 59 міста Запоріжжя за першим пропонованим варіантом складає

$$E = 1\,019\,639 - 876\,015 = 143\,624 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки соціально-економічного ефекту показали, що запровадження координації розкладів руху на спільних ділянках міських маршрутів громадського транспорту є ефективною.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі магістерської роботи на тему «Дослідження умов координації та синхронізації розкладів руху на міських автобусних маршрутах міста Запоріжжя» розглянуто аналіз потенційних небезпек, що можуть вплинути на дослідника та заходи захисту від них при виконанні дослідницьких робіт, можливого негативного впливу санітарно-гігієнічних факторів в робочих зонах, дослідницькій лабораторії, заходи з пожежної безпеки та захист персоналу в умовах надзвичайних ситуацій. Небезпеки, які діють на дослідника, заходи щодо їх усунення, заходи з виробничої санітарії та гігієни праці, розрахунок дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, напруженості праці, значення яких були заміряні в лабораторії дослідника розглянуті в додатку Б.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

До потенційних небезпек відносяться:

- травмування дослідника під час збору статистичних даних по формуванню пасажиропотоків, розкладу руху. Це можуть бути наїзди, знаходження поблизу, де відбулося ДТП та інше;
- переохолодження дослідника під час збору даних на повітрі в холодну пору року може призвести до захворювань;.
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання, джерелами яких є блоки живлення (50 Гц), системи кадрової розгортки (5 -2 кГц), блок модуляції променю ЕПТ (5-10 МГц). Електромагнітні поля біля комп'ютера (особливо низькочастотні) негативно впливають на нервову систему, викликаючи головний біль, запаморочення, депресію, безсоння;

- незадовільнене освітлення штучного та природного освітлення може призвести до зниження працездатності дослідника на ПК. Може з'явитися короткозорість, швидка втомленість, що приводить до травмування;

- появи підвищеного шуму, джерелами якого є жорсткий диск, вентилятор блока живлення мережі, сканери, пересувні механічні частини принтера. Підвищений шум впливає на центральну та вегетативну нервову систему людини, а також на органи слуху;

- монотонність роботи за ПК приводить до швидшої втоми, це більш ніж 600 однакових дій упродовж 75 % робочого часу за годину. Монотонність роботи, не ергономічність робочого місця призводить до захворювань загально-невротичного характеру у вигляді підвищеної загальної втоми, головного болю, відчуття важкості голови, поганого сну;

- електризований екран монітору притягує частки пилу, який є у повітрі, та заряджає їх, що визиває роздратованість, сип, запалення шкіри. При роботі на лазерному принтері виділяється озон, який сильно роздратовує слизисту оболонку носа, очей, горла і може приводити до онкологічного захворювання;

- порушення мікроклімату в кімнаті, де розташований ПК. Від працюючої оргтехніки, інших приладів, які нагріваються, температура в кімнаті підвищується, що призводить до дискомфорту оператора, до швидшої втоми;

- при виникненні короткого замикання та попадання іскри до легкозаймистих матеріалів (бумага, спирт для обтирки та інше) може виникнути пожежа. Якщо своєчасно її не загасити, то виникне пожежа, яка може призвести до опіків людини та до летальних наслідків;

- підвищене значення напруги в електричній мережі, і замикання якої може пройти через тіло людини. Пошкодження ізоляції електропроводки може спричинити коротке замикання та уразити людину. Пошкодження може бути від скручених дротів, через зачеплення ногами за дроти та інше.

4.2 Заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях

Матеріально-технічне постачання є одним з найважливіших факторів забезпечення стійкості роботи промислових об'єктів в особливий період.

Основними завданнями матеріально-технічного постачання є забезпечення підприємства сировиною, матеріалами, паливом, електроенергією, комплектуючими виробами та вузлами, інструментами, оснащення формувань цивільного захисту (далі ЦЗ) технікою, засобами індивідуального захисту, приладами радіаційної і хімічної розвідки, засобами зв'язку, а також своєчасне та повне забезпечення формувань ЦЗ продовольством, медикаментами, медичним майном, обмінними одягом, білизною та взуттям, горючими і мастильними матеріалами, будівельними матеріалами та іншими засобами, необхідними для їх дій.

В особливий період матеріально-технічне постачання може бути порушене внаслідок знищення запасів матеріальних засобів на складах і базах, виходу з ладу підприємств-постачальників і об'єктів енергетики, руйнування транспортних комунікацій, ліній електропередач і зв'язку та радіоактивного зараження запасів продовольства. Тому завчасне проведення оцінки стійкості системи матеріально-технічного постачання та виробничих зв'язків і вживання необхідних заходів по підвищенню надійності їх у особливий період багато в чому визначають стійкість роботи об'єктів господарювання.

При оцінці надійності системи матеріально-технічного постачання та виробничих зв'язків визначаються: запаси (резерв) сировини, палива, комплектуючих виробів безпосередньо на об'єкті, а також на складах і базах; умови зберігання; система поставки готової продукції споживачам; стійкість існуючих і запланованих на особливий період зв'язків з постачальниками; можливості транспорту і засобів механізації вантажно-розвантажувальних робіт; можливості використання місцевих джерел сировини та енергії; якість планування і організації матеріально-технічного забезпечення заходів ЦЗ і дій формування ЦЗ при веденні рятувальних невідкладних аварійних робіт (далі СНАВР) та відновленні порушеного виробництва.

Резерв матеріальних засобів безпосередньо на об'єкті гарантує можливість його роботи у випадку часткового або повного порушення системи постачання. У цих цілях відповідними міністерствами і відомствами заздалегідь установлюються для підприємств запаси засобів, що забезпечують їх роботу на певні строки.

Запаси матеріальних засобів зберігаються розосереджене безпосередньо на об'єктах господарювання і у замській зоні в місцях, де вони найменше можуть бути піддані знищенню в особливий період.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розглянуті питання застосування методів математичного моделювання до вирішення задачі координації розкладів руху на автобусних маршрутах, що мають між собою спільну ділянку траси значної довжини. Розглянуті можливі варіанти координації розкладів руху на таких маршрутах з урахуванням особливостей інтервалів руху на них.

В якості прикладу координації розкладів руху розглянуті міські автобусні маршрути № 17 «Арматурний завод – пр. 40-річчя Перемоги» та № 59 «вул. Чумаченка – Набережна» міста Запоріжжя. В результаті аналізу існуючих розкладів руху на цих автобусних маршрутах показано, що за рахунок координації розкладів руху автобусів на цих маршрутах протягом ранкового та вечірніх годин «пик» можна досягти загального ефекту, який виявляється у скороченні витрат часу пасажирів на очікування і поїздки в середньому на 30 %.

Економічні розрахунки показали наявність соціально-економічного ефекту у розмірі 143 624 грн, який може бути досягнутий виключно за рахунок організаційно-технологічних заходів і не передбачає додаткових капітальних витрат.

Рекомендації, розроблені в результаті виконання магістерської роботи, можуть бути використані у практичних умовах роботи Управління з питань транспортного забезпечення та зв'язку Запорізької міської ради та Запорізького комунального підприємства міського електричного транспорту «Запоріжелектротранс».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Eranki A. A model to create bus timetables to attain maximum synchronization considering waiting times at transfer stops. 2004. P. 87.
2. Ceder A., Golany B., Tal O. Creating bus timetables with maximal synchronization // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2001. Vol. 35, № 10. P. 913–928.
3. Wu W., Liu R., Jin W. Designing robust schedule coordination scheme for transit networks with safety control margins // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2016. Vol. 93. P. 495–519.
4. Currie G., Bromley L. Developing Measures of Public Transport Schedule Coordination Quality. P. 14.
5. Chen Q. Global Optimization for Bus Line Timetable Setting Problem // *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2014. Vol. 2014. P. 1–9.
6. Liu T., (Avi) Ceder A. Integrated Public Transport Timetable Synchronization and Vehicle Scheduling with Demand Assignment: A Bi-objective Bi-level Model Using Deficit Function Approach // *Transportation Research Procedia*. 2017. Vol. 23. P. 341–361.
7. Gkiotsalitis K., Cats O. Network-wide synchronized scheduling of public transport services. 2018. P. 6.
8. Ibarra-Rojas O.J. et al. Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2015. Vol. 77. P. 38–75.
9. Adamski A. Public transport lines synchronization problem. 1993. P. 15.
10. Ibarra-Rojas O.J., Rios-Solis Y.A. Synchronization of bus timetabling // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2012. Vol. 46, № 5. P. 599–614.

ДОДАТОК А

ТЕКСТ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ОЧІКУВАННЯ
ПАСАЖИРА

```

if __name__ == '__main__':

    pass

    import statistics

    # функція для розрахунку найбільшого спільного дільника довільної кількості чисел

    def get_gcd(nlist):

    def find_gcd(x, y):

    while(y):

    x, y = y, x % y

    return x

    num1=nlist[0]

    num2=nlist[1]

    gcd=find_gcd(num1,num2)

    for i in range(2,len(nlist)):

    gcd=find_gcd(gcd,nlist[i])

    return gcd

    # open file for result record

    # f = open('result.txt','a')

    # варіант двох маршрутів

    headwayA = 24

    headwayB = 16

```

```

# розраховуємо цикл повторення ситуації координації

GCD = get_gcd([headwayA, headwayB])

cycle_len = GCD * (headwayA/GCD) * (headwayB/GCD)

# зсув моментів прибуття автобусів на спільну ділянку маршрутів

time_shift = 4

print('Інтервал на першому маршруті A= ', headwayA)
print('Інтервал на другому маршруті B= ', headwayB)
print('Максимальний спільний діляник ', GCD)
print('Часовий зсув прибуття = ', time_shift)

# створюємо списки моментів прибуття автобусів на зупинку
# для першого маршруту

current_time = 0

arrivalsA = [0]

while current_time <= cycle_len:
    arrivalsA.append(current_time+headwayA)
    current_time += headwayA

# для другого маршруту

current_time = 0

arrivalsB = [time_shift]

while current_time <= cycle_len:
    arrivalsB.append(current_time+headwayB+time_shift)
    current_time += headwayB

# поєднуємо обидва списки, сортуємо, прибираємо дублікати

arrivalsAB = arrivalsA + arrivalsB;

arrivalsAB = list(set(arrivalsAB))

arrivalsAB.sort();

```

```

dIndex = 0;

for it in arrivalsAB:
    if it>cycle_len:
        dIndex = arrivalsAB.index(it);
        break

arrivalsAB = arrivalsAB[0:dIndex]

# створюємо список прибуття автобусів на зупинку

headwayAB=[]

prev_it = arrivalsAB[0]

for it in arrivalsAB[1:]:
    headwayAB.append(it-prev_it);
    prev_it = it

# розраховуємо середнє та стандартне відхилення інтервалів прибуття

headway_mean = statistics.mean(headwayAB)

headway_STD = statistics.stdev(headwayAB)

# розраховуємо тривалість очікування та коефіцієнт її варіації

avgWaitTime = headway_mean/2 +
headway_STD*headway_STD/(2*headway_mean)

variationAB = headway_STD/headway_mean

# виводимо на екран результати розрахунку

print('Моменти прибуття для маршруту A: ', arrivalsA)

print('Моменти прибуття для маршруту B: ', arrivalsB)

print('Моменти прибуття обох маршрутів AB: ', arrivalsAB)

print('Мережевий інтервал руху: ', headwayAB)

print('Середній мережевий інтервал руху : ', headway_mean)

print('Стандартне відхилення мережевого інтервалу руху ', headway_STD)

```

```
print('Середня тривалість очікування пасажирів : ', avgWaitTime)
PRINT('КОЕФІЦІЄНТ ВАРІАЦІЇ МЕРЕЖЕВОГО ІНТЕРВАЛУ РУХУ : ', VARIATIONAB)
```

ДОДАТОК Б

Б.1 Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання наїздів та аварійних ситуацій, досліднику необхідно знаходитися на безпечній відстані від дороги (не менш 5м від краю проїзжної частини).

При роботі на ПК, рівні електромагнітного випромінювання моніторів, що вважаються безпечними для здоров'я, регламентуються нормами MPR 11 1990:10 Шведського національного комітету по вимірах і випробуванням. Ці значення рівнів вважаються базовими. Українські нормативні документи повністю збігаються в частині рівнів ЕМІ з вимогами MPR 11.

Необхідно враховувати, що будь-який персональний комп'ютер, допоміжне обладнання та периферійні пристрої, які експлуатуються разом з ним (принтер, сканер, модем), є електроустановками які живляться напругою до 1000 В й на них і на все, що пов'язано з їх експлуатацією в повній мірі поширюються вимоги електробезпеки.

Тому з метою забезпечення безпеки, як користувачів, так і обслуговуючого персоналу комп'ютерів, при їх експлуатації в приміщеннях (лабораторіях) обладнаних комп'ютерами, повинні бути повністю дотримані вимоги електробезпеки ДСТУ 7237:2011 «Системи стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту».

Для запобігання ураження електричним струмом, необхідно всі дроти, що підходять до ПК та до адаптерів, згорнути у спеціальні ізолюючі вкриття. Розташовувати їх на стіні, або на полу. Це не дасть можливості пошкодження дротів механічно.

Б.2 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці

Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях з ПК повинні бути передбачені системи вентиляції, кондиціонування та опалення, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

При виборі системи вентиляції, необхідно врахувати, що в приміщеннях з комп'ютерною технікою повинен бути забезпечений 3-х кратний повітрообмін за годину.

Рівні позитивних і негативних іонів в повітрі приміщень з комп'ютерною технікою повинні відповідати санітарно-гігієнічним нормам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень», які наведені в таблиці.

Таблиця Б.1 – Рівні іонізації повітря приміщень з комп'ютерною технікою

Рівні іонізації повітря	Кількість іонів в 1 см^3 повітря	
	n^+	n^-
Мінімально не- обхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Для підтримки оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів в повітрі приміщень, обладнаних комп'ютерною технікою, рекомендується використовувати біполярні коронні аероіонізатори.

В рамках дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості та напруженості праці були проведені відповідні виміри мікроклімату, освітлення, рівня шуму та інші у лабораторії де є ПК.

У відповідності до вихідних даних, вносимо наявні фактори умов праці та виробничого середовища що впливають на працівника в процесі трудової діяльності їх фактичне значення та час дії вносимо до стовпчиків 1, 2, 3, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Відповідно до додатків методичних вказівок [1], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для дослідника лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 140 Вт (90-120 ккал/год.) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії 2а.

З додатків [1], відповідно до категорії робіт 2а, розряду зорових робіт Б-2 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 4, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Таблиця Б.2 – Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Виміряні показники $P_{вим}$	Час дії год.(хв.)	ГДК, ГДР, показники, $P_{доп}$	$X_{визн},$ бали	Клас умов праці	$X_i,$ бали
Мікроклімат за ТНС-індексом, $t, ^\circ C$	29	10	22,0-25,1	4	3.4	4
Освітленість приміщення $E, лк$	150	9	200	—	3.1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, $З_{ор}$	Б-2	—	—	—	—	—
Рівень шуму $L, дБА$	109	6	80	—	3.4	3,00
Загальні енергозатрати організму, $Вт$	340	6	290	0,88	3.3	3
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	61000	6	40000	1,14		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	80	6	75	0,80		
Тривалість робочого дня, год.	9	9	8	0,19		

Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{визн}$ та вносять їх значення до стовпчика 5, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС-індекс, додаток Б [1]. Розрахунковий коефіцієнт $X_{визн}$ при оцінці мікроклімату визначаємо в балах, за формулою 7.1:

$$X_{визн} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T} = \frac{4 \cdot 10}{10} = 4$$

для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою 7.2:

а.) Загальні енергозатрати організму, $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{340 \cdot 6 \cdot 1,0}{8 \cdot 290} = 0,88;$$

б.) Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{61000 \cdot 6 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 1,14;$$

в.) Тривалість зосередження уваги (% від часу зміни), $K_{знач} = 1,0$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{80 \cdot 6 \cdot 1,0}{8 \cdot 75} = 0,80;$$

г.) Тривалість робочого дня (зміни), $K_{знач} = 0,15$

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{9 \cdot 9 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,19;$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 6, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{визн} = 4$, з таблиці 7.2 [1] – 3 клас, 4 ступінь (3.4);

- при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{вим} = 150$ лк, за додатками Г та табл. Г.1 [1] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

- для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $P_{вим} = 109$ дБА, за додатками Д та табл. Д.1 [1] – 3 клас, 4 ступінь (3.4);

- клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{визн}$ за формулою 7.3 [1]:

$$X_{сум} = \sum_{i=1}^n X_i = 0,88 + 1,14 + 0,80 + 0,19 = 3,01$$

З таблиці 7.3 [25] за значенням суми розрахованих балів показників $X_{сум} = 3,01$ – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

В результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 4 ступеню.

Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до стовпчика 7, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 4 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому – $X_{см} = X_i = 4$;

- при оцінці впливу освітленості, виходимо з того що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 9 годин, тому коректування не потрібно – $X_{cm} = X_i = 1$;

- для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 4 ступеню умов праці та діє протягом 6 годин, тому значення X_i визначаємо за формулою 7.4 [1]:

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8} = 1 \cdot \frac{4 \cdot 6}{8} = 3,00$$

- для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 3$;

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за формулою 7.5 [1]:

$$X_{факт} = \sum_{i=1}^n X_i = 4 + 1 + 3 + 3 = 11$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{факт} = 11$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.4 [1]. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 24 %.

На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці дослідника лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам

Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

2. Відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці -дослідника належать до категорії 2а, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії 2а, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ТНС-індексом - 19,2-21,9°C;

- освітленість приміщення для роботи з дисплеями й відеотерміналами відповідає розряду зорових робіт Б-2, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E = 200$ лк;

- рівень шуму в робочій зоні дослідника – 80 дБА;

- загальні енергозатрати організму, до 232 Вт;

- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 40000;

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 100%;

- тривалість робочого дня, 8 год.

3. Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів які забезпечать нормалізацію умов праці, наприклад:

- для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціювання приміщення;

- для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням;

- для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;

- для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня до 8 год

- для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1-2 години;

- для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

4. Якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до таблиці 7.4 [1], у розмірі 24%

Б.3 Додатковий перелік джерел посилання

1. Лазуткін М. І., Журавель М. О. Дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці : методичні вказівки до лабораторного заняття з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для студентів усіх спеціальностей та усіх форми навчання : Запоріжжя: ЗНТУ. Каф. ОП і НС