ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра транспортних систем і логістики

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему Розробка розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту з урахуванням диференційованих норм часу рейсу

Виконав: студент 2 курсу, групи Мн РозТранс 2024-1,
спеціальності 275 Транспортні технології
(за видами)
освітньо-наукової програми
«Розумний транспорт і логістика для міст»
Коркішко В. А.
Керівник Понкратов Д. П.
Рецензент Давідіч Ю. О.

Харків - 2026 року

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Факультет Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра Транспортних систем і логістики

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології (за видами)
(шифр і назва)

Освітньо-наукова програма «Розумний транспорт і логістика для міст»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри_____
к.т.н., доц. Куш Є. І.
“____” _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУРОБОТУ СТУДЕНТУ

Коркішку Вадиму Андрійовичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту з урахуванням диференційованих норм часу рейсу

керівник роботи Понкратов Денис Павлович, д.т.н., доцент
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “27” 02.26 року № 184-03

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 15.05.26

3. Вихідні дані до роботи Параметри перевезень пасажирів на маршрутах міського пасажирського транспорту

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз методів та підходів щодо розробки розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту 2. Формування методики розробки розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту з урахуванням диференційованих норм часу рейсу 3. Апробація методики розробки розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту з урахуванням диференційованих норм часу рейсу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень) Стрічковий графік руху маршрутних транспортних засобів

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Перевірка роботи на наявність ознак академічного плагіату	ас. Толмачов І.О.		

7. Дата видачі завдання 27.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Аналіз методів та підходів щодо розробки розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту	27.02.26 – 17.03.26	
2	Формування методики розробки розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту з урахуванням диференційованих норм часу рейсу	18.03.26 – 21.04.26	
3	Апробація методики розробки розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту з урахуванням диференційованих норм часу рейсу	22.04.26 – 15.05.26	

Студент _____ Коркішко В. А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Понкратов Д. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 162 сторінки, 34 рисунки, 24 таблиці, 43 джерела.

Об'єкт дослідження: організація та управління пасажирськими перевезеннями на міському громадському транспорті (на прикладі автобусного маршруту №29 у м. Львові).

Мета роботи: підвищення ефективності міських автобусних перевезень шляхом побудови адаптивних розкладів руху на основі диференційованих норм часу оберту за даними телеметрії.

Методи дослідження: натурне спостереження (збір GPS-даних), математична статистика, логічне та лінійне моделювання (оптимізація в MS Excel за допомогою OpenSolver).

Отримані результати: на основі даних GPS-моніторингу розраховано диференційовані норми часу оберту для п'яти періодів доби. За допомогою OpenSolver оптимізовано матрицю випусків (одно-, двозмінні та розривні графіки), що підвищило ефективність використання автомобіле-годин до 0,937. У розкладах враховано фрагментацію перерв водіїв (на інтервали типу 15+30+15 хв) через зміну тривалості рейсів, що забезпечило високу регулярність руху без порушень умов праці.

Рекомендації з впровадження: розроблена методика та алгоритми автоматизованої побудови розкладів можуть застосовуватися автотранспортними підприємствами та центрами диспетчеризації для стабілізації руху міського транспорту.

МІСЬКИЙ АВТОБУСНИЙ МАРШРУТ, GPS-МОНІТОРИНГ, ТЕЛЕМЕТРІЯ, РОЗКЛАД РУХУ, ДИФЕРЕНЦІЙОВАНІ НОРМИ, ЧАС ОБЕРТУ, OPENSOLVER, ПЕРЕРВА ВОДІЯ, РЕГУЛЯРНІСТЬ РУХУ.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ЗМІСТ

ВСТУП 8

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ РОЗКЛАДУ РУХУ НА МАРШРУТАХ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ 11

1.1 Цілі та завдання розробки розкладу руху на маршрутах 12

1.1.1 Режим праці водіїв 15

1.2 Види розкладу руху 19

1.3 Вихідні дані щодо розробки розкладу руху (загалом) 22

1.3.1 Класифікація швидкостей руху 23

1.3.2 Зв’язок «швидкість руху-інтенсивність руху-щільність» транспортного потоку 30

1.3.3 Час оберту пасажирського транспорту. Вираження часу оберту через швидкості руху 38

1.4 Нормування швидкості руху (часу рейсу, часу оберту) маршрутних транспортних засобів 40

1.4.1 Нормування швидкості руху автобусів на маршруті 41

1.4.2 Нормування часу рейсу, обороту автобусів на маршруті 44

1.5 Диференційовані норми часу на виконання рейсу 50

1.6 Методи розробки розкладу руху 54

1.7 Способи представлення розкладу руху 60

1.8 Способи автоматизації розробки графіку руху 61

1.9 Висновки по розділу 68

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ МЕТОДИКИ РОЗРОБКИ РОЗКЛАДУ РУХУ МАРШРУТНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ НОРМ ЧАСУ РЕЙСУ 71
2.1 Методика обстеження параметрів руху маршрутного пасажирського транспорту 71
2.2 Характеристики маршруту 76
2.3 Проведення експериментальних досліджень 80
2.4 Обробка даних 92
2.4.1 Обробки даних за хронометражним обстеженням 92
2.4.2 Обробки даних зібраних GPS-моніторингом 98
2.5 Визначення диференційований норм часу оберту 103
2.6 Методика розробки 108
2.6.1 Визначення потрібної кількості автобусів 108
2.6.2 Розробка графо-аналітичної таблиці 110
2.6.3 Особливості побудови стрічкового графіка в умовах диференційованих норм часу оберту 125
2.7 Висновки по розділу 127
РОЗДІЛ 3 АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ РОЗРОБКИ РОЗКЛАДУ РУХУ АРШРУТНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ НОРМ ЧАСУ РЕЙСУ 130
3.1 Розрахунок параметрів розкладу для маршруту №29 130
3.1.1 Розрахунок диференційованих норм часу оберту 130
3.1.2 Розрахунок потрібної кількості автобусів на маршруті 133

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

3.2 Побудова графо-аналітичної таблиці погодинної роботи маршруту 139

3.3 Розробка маршрутного розкладу 141

3.4 Висновки до розділу 146

ВИСНОВКИ 148

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 150

ДОДАТОК А 156

ДОДАТОК Б 157

ДОДАТОК В 160

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку великих міст супроводжується стрімким рівнем автомобілізації, що призводить до значного перевантаження вулично-дорожньої мережі, виникнення транспортних заторів та, як наслідок, різкого зниження швидкості сполучення. У таких умовах міський пасажирський громадський транспорт стикається із серйозними експлуатаційними викликами. Традиційні підходи до організації автобусних перевезень, які базуються на використанні жорстких (статичних) норм часу на виконання оборотного рейсу, втрачають свою ефективність. Нездатність розкладу своєчасно реагувати на погодинні коливання інтенсивності дорожнього руху призводить до систематичних порушень регулярності. Це призводить до просторово-часові накладання («злипання») автобусів на лінії, збільшується час очікування для пасажирів, а на кінцевих зупинках утворюються наднормативні простої або ж навпаки - нестача часу на відпочинок водіїв.

З огляду на це, стратегічним напрямком вдосконалення транспортного обслуговування є перехід від статичного планування до динамічного управління на основі диференційованих норм часу рейсу. Впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) та доступність відкритих телеметричних даних відкритого GPS-моніторингу створюють необхідне підґрунтя для глибокого аналізу фактичних умов руху. Використання сучасного математичного інструментарію та засобів обробки великих масивів даних дозволяє з високою точністю моделювати розклади, які враховують нерівномірність транспортних потоків протягом доби. Саме тому розробка адаптивних графіків руху, що поєднують економічну ефективність використання рухомого складу із забезпеченням належних умов праці водіїв та високою якістю обслуговування пасажирів, є вкрай актуальним науково-практичним завданням судної транспортної інженерії.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Мета і задачі дослідження. Метою дипломної роботи є підвищення ефективності та надійності функціонування міського автобусного транспорту шляхом розробки та впровадження методики побудови розкладів руху з використанням диференційованих норм часу оберту, що базуються на об'єктивних даних телеметрії.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються наступні задачі:

1. Виконати аналіз існуючих теоретичних і практичних підходів до нормування швидкостей та часу руху на міських маршрутах, а також методів побудови розкладів.

2. Провести натурне дослідження та збір масиву телеметричних даних щодо тривалості рейсів у різних умовах міського трафіку (на основі 16-годинного спостереження з 06:00 до 22:00).

3. Розробити алгоритм обробки GPS-даних для виокремлення характерних часових періодів доби та розрахунку диференційованих норм часу оберту.

4. Вдосконалити методику формування раціональної матриці випусків рухомого складу, що комбінує одні-, двозмінні та розривні графіки із застосуванням інструментів математичної оптимізації.

5. Провести практичну апробацію розробленої методики на прикладі реального міського автобусного маршруту з побудовою фінального стрічкового графіка та аналізом розподілу технологічних перерв.

Об'єкт дослідження – є процес організації та управління пасажирськими перевезеннями на маршрутах міського громадського транспорту.

Предмет дослідження – є параметри розкладу руху, диференційовані норми часу оберту автобусів та методи їх математичної оптимізації в умовах змінного міського трафіку.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є комплексний системний підхід до аналізу транспортних процесів. У процесі виконання дипломної роботи використовувались методи: натурного спостереження та пасивного експерименту (збір телеметричних даних руху автобусів через

платформу диспетчеризації EasyWay); методи математичної статистики (для обробки масивів транспортних даних); методи логічного та математичного моделювання (побудова алгоритмів за допомогою динамічних масивів та функцій пошуку у середовищі MS Excel); методи лінійного програмування та дослідження операцій (оптимізація матриці випусків за допомогою надбудови OpenSolver).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у подальшому розвитку методів розробки маршрутних розкладів. Зокрема, удосконалено підхід до синхронізації роботи рухомого складу при переходах між піковими та міжпіковими годинами. Доведено, що використання диференційованих норм часу рейсу об'єктивно зумовлює появу плаваючих експлуатаційних запасів часу, що дозволяє оптимізувати розклад шляхом раціональної фрагментації технологічних перерв водіїв у двозмінних графіках, зберігаючи при цьому стабільність інтервалів та усуваючи ризик «накладання» транспортних засобів.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена методика має високий ступінь готовності до впровадження у практику роботи підприємств автомобільного транспорту та міських центрів диспетчеризації. Апробацію результатів успішно проведено на прикладі міського автобусного маршруту №29 у місті Львів, який відіграє важливу роль у системі міської мобільності, забезпечуючи сполучення районів Винники та Лисиничі із Головним залізничним вокзалом. Отримані на основі комплексного дослідження цього маршруту оптимізовані розклади руху дозволяють підвищити стабільність графіків, покращити умови роботи водіїв та забезпечити високу якість пасажирських перевезень за рахунок адаптації до реальних умов дорожнього руху. Запропоновані алгоритми обробки даних можуть бути масштабовані та застосовані для будь-якого іншого міського маршруту.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ РОЗКЛАДУ РУХУ НА МАРШРУТАХ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Організація перевезення важливий елемент економіки, котрий впливає на рівень втомленості працівників, їх працездатність, на продуктивність їх праці, що впливає на економічний розвиток країни.

Для маршрутних перевезень найважливішими показниками надійності є – регулярність перевезення та дотримання розкладу руху водіями [1], що безпосередньо впливає на рівень комфорту перевезення пасажирів. Регулярність перевезення залежить від багатьох факторів, котрі потрібно враховувати, для задоволення в потребах перевезення населення. Також стоїть питання оперативної реакції зміну показників (складових) часу оберту для дотримання регулярності руху.

Рух пасажирського транспорту є регулярним, коли здійснюється за заздалегідь визначеним розкладом, маршрутом руху та з постійними/рівними/однаковими проміжками часу. Також пропоную розглядати міські, приміські, міжміські маршрути як «окремі точки спектру» за декількома параметрами: інтенсивністю руху; довжиною маршруту/перегонів. Для міських перевезень властиві найменші інтервали руху за спектром. Для міських перевезень визначну роль грає саме регулярність дотримання руху, а дотримання графіку руху виходить на другий план. А вже для приміських, особливо міжміським, стає першочергово – дотримання розкладу, а ніж регулярність. Для міських перевезень характерний постійний та випадковий підхід пасажирів до зупинки, коли для приміських та міжміських стає характерним – підхід пасажирів до зупиночного пункту в назначений час за розкладом [1, 2].

Відповідно до гідродинамічної теорії транспортних потоків для транспортних засобів в потоці властивий ефект посилення коливань, коли в

довгих ланцюгах з великою кількістю зупинок мале запізнення на початку перетворюється на величезну затримку в кінці, що призводить до злипання транспортних засобів. Виникає ефект «злипання», «паровозик», або «bus bunching» пропускна здатність маршруту падає, бо передній транспортний засіб перевантажується, а другий іде порожнім [28], [30].

Вбачаю наступні способи вирішення цієї проблеми:

1. Використовувати диференційовані норми часу, враховуючи часові та просторові чинники, при розрахунку потрібної кількості маршрутних транспортних засобів на маршруті на кожну годину роботи маршруту.

2. Використання автоматизованих систем складання розкладу руху в реальному часі для корегування руху всіх маршрутних транспортних засобів на маршруті.

3. Збільшити жорсткість покарання в наслідок не дотримання розкладу руху і т.д.

Для маршрутів міського сполучення допускається відхилення від розкладу руху до 2 хвилин, для приміського – до 3 хвилин, а для міжміського – до 5 хвилин. При цьому встановлені нормативи виконання рейсів, передбачених розкладом руху, становлять не менше 96% для міських маршрутів, 98% – для приміських та 100% - для міжміських [1, 3].

1.1 Цілі та завдання розробки розкладу руху на маршрутах

Розклад руху транспортних засобів на маршруті є ключовим плановим документом, у якому акумулюються всі управлінські рішення щодо організації пасажирських перевезень. Процес його формування має ієрархічну структуру: спочатку розробляється зведений маршрутний розклад, який слугує базою для створення станційних (для кінцевих і контрольних пунктів), робочих (для водіїв) та інформаційних (для пасажирів) розкладів. При цьому розклад повинен бути сформований таким чином, щоб одночасно забезпечувати належні умови перевезення пасажирів протягом усього часу роботи маршруту, дотримання

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

нормативних умов праці водіїв, ефективне використання рухомого складу, узгодження роботи маршруту з іншими маршрутами та видами міського транспорту, а також виконання вимог безпеки дорожнього руху [4].

Ефективний з економічної точки зору розклад руху є результатом досягнення балансу між рівнем комфорту для пасажирів і витратами на обслуговування перевезень. Оптимальна відповідність між транспортною пропозицією та пасажирським попитом досягається за умови, що розклад враховує фактичну інтенсивність попиту, водночас мінімізуючи кількість задіяних транспортних засобів. Такий підхід дозволяє скоротити експлуатаційні витрати перевізника, зокрема витрати на оплату праці водіїв і капіталовкладення у рухомий склад. У межах цієї концепції визначено п’ять основних цілей формування розкладу громадського транспорту: оцінювання альтернативних варіантів розкладу з позиції ресурсного забезпечення; підвищення відповідності часу відправлення транспортних засобів пасажирському попиту при мінімальних витратах ресурсів; забезпечення можливості оперативного коригування частоти руху незалежно від наявних даних про попит; застосування методів згладжування переходів між суміжними часовими інтервалами; інтеграція різних підходів до визначення частоти руху та процедур складання розкладу [15].

Розроблення зведеного маршрутного розкладу належить до найбільш відповідальних функцій експлуатаційної служби транспортного підприємства, оскільки цей документ визначає не лише якість перевізного процесу, але й впливає на організацію роботи технічних підрозділів. Зокрема, від нього залежить планування технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів, рівномірність завантаження ремонтної інфраструктури, а також удосконалення організації праці як водіїв, так і ремонтного персоналу [4].

У загальному розумінні розклад руху є нормативним документом, що регламентує переміщення транспортних засобів у просторі та часі. Він виступає підсумковим результатом усього комплексу робіт з планування руху і виконує координуючу функцію для всіх служб підприємства, пов’язаних із перевізним процесом. Дотримання розкладу є обов’язковим для всіх учасників, а саме: від

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

водіїв до керівного складу служби перевезень. Якісно розроблений розклад забезпечує досягнення високих показників обслуговування пасажирів, виконання планових обсягів перевезень і отримання прибутку, підвищення рентабельності маршрутів, збільшення рівня безпеки руху, раціональне використання рухомого складу, узгодження роботи з іншими видами транспорту, дотримання норм трудового законодавства щодо режиму праці водіїв, а також максимально можливе використання допустимих швидкостей руху [4].

Таким чином, розклад руху слід розглядати як складний багатофакторний інструмент, що забезпечує баланс між інтересами пасажирів, ресурсними можливостями перевізника та вимогами безпеки і нормативно-правового регулювання. У цьому контексті основними цілями його розробки є: задоволення транспортного попиту населення; забезпечення регулярності та надійності руху; досягнення економічної ефективності; гарантування безпеки перевезень.

Маршрутний розклад виконує низку прикладних функцій, зокрема: розподіл транспортних засобів між маршрутами у часі; формування графіків роботи водіїв на визначений період; визначення параметрів руху (частоти та інтервалів) і їх змін упродовж доби; розрахунок експлуатаційних показників маршруту; планування заходів технічного обслуговування і ремонту для забезпечення своєчасного випуску рухомого складу; встановлення цільового рівня транспортного обслуговування за показниками наповнюваності та регулярності руху; оцінювання економічної ефективності функціонування маршруту відповідно до розробленого плану-розкладу [4].

Водночас розробка маршрутного розкладу як інтегрованого документа поточного планування не може розглядатися як однозначне вирішення суто інженерних, організаційних чи економічних задач. На різних етапах його формування під впливом численних факторів виникає потреба у багатоваріантному аналізі та оцінюванні проміжних рішень, що обумовлює складність і багатокритеріальний характер цього процесу [4].

Розклад руху є базовим багатофункціональним документом, який координує роботу транспортної системи, забезпечує баланс між попитом,

ресурсами та безпекою, і формується як результат складного багатокритеріального планування з урахуванням економічних, технічних і соціальних факторів.

1.1.1 Режим праці водіїв

Відповідно до ПОЛОЖЕННЯ про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів від 14 вересня 2010 року.

Вимоги цього Положення поширюються на автомобільних перевізників та водіїв, які здійснюють внутрішні перевезення пасажирів чи/та вантажів колісними транспортними засобами (п. 1.3).

Вимоги щодо режимів роботи автобусів і водіїв наступні:

1. Організація робочої зміни водія

Робоча зміна водія регламентується графіком змінності та встановлюється перевізником.

Склад робочої зміни (що входить у робочий час):

- Безпосереднє керування автобусом;
- Підготовчо-заключний час (приймання та здавання зміни);
- Проходження щозмінного медичного огляду;
- Час технологічних простоїв (очікування на лінії, кінцевих зупинках тощо).

Обмеження щодо тривалості зміни:

- Нормальна тривалість повинна не перевищувати 10 годин (при графо-аналітичному методі побудови розкладу тривалість чистого керування обмежена цими ж 10 годинами).
- Максимальна тривалість роботи допускається подовження до 12 годин, але виключно за умови наявності тривалих простоїв у зміні.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- Нічні зміни скорочуються на 1 годину (за умови функціонування маршруту у нічний час, наприклад, у разі відсутності чи скасування комендантської години).

2. Баланс робочого часу (тижневі норми).

Стандартна норма не більше 40 годин на тиждень.

При підсумованому обліку робочого часу:

- Максимальний час керування за 1 тиждень - не більше 56 годин;
- Максимальний сумарний час керування за 2 тижні поспіль - не більше 90 годин.

Для наочності розподілу робочого часу водія наведено приклади розрахунку за тижнями.

Таблиця 1.1 – Приклад тривалості робочого часу водія протягом першого тижня

Пн.	Вт.	Ср.	Чт.	Пт.	Сб.	Нд.
10 год.	9 год.	10 год.	9 год.	9 год.	9 год.	Відпочинок

Таблиця 1.2 – Приклад тривалості робочого часу водія протягом першого тижня

Пн.	Вт.	Ср.	Чт.	Пт.	Сб.	Нд.
9 год.	9 год.	9 год.	9 год.	Відпочинок	Відпочинок	Відпочинок

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

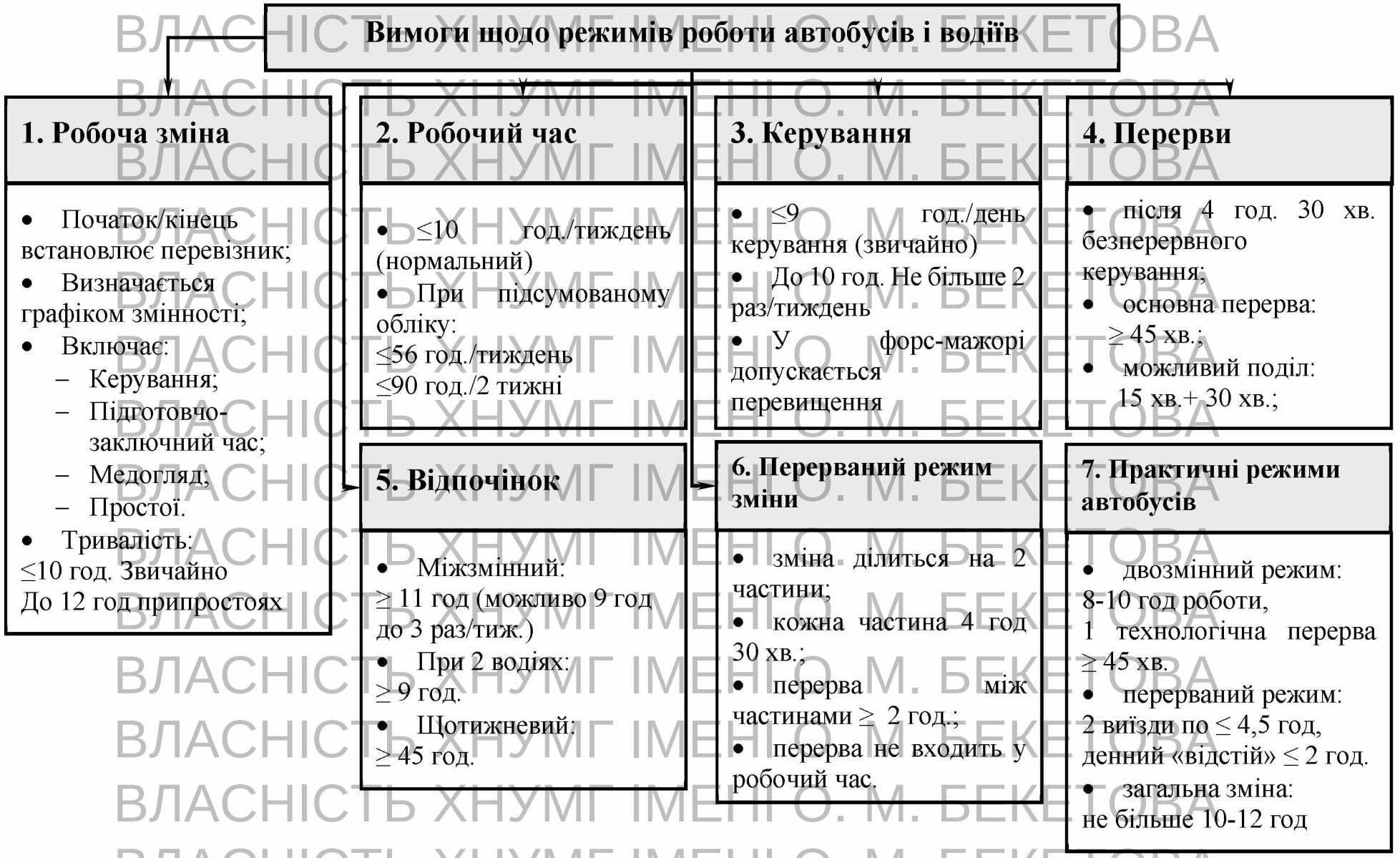


Рисунок 1.1 – Вимоги щодо режимів роботи автобусів і водіїв

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

З 26 липня 2026 року в Україні запроваджують нові соціальні стандарти в сфері праці та відпочинку водіїв комерційного транспорту, які узгоджено з європейським законодавством. Це має на меті підвищити безпеку на дорогах та стандартизувати умови праці перевізників [6, 7, 8].

Зазначені зміни безпосередньо стосуються водіїв міського пасажирського транспорту, оскільки вони поширюються на всіх перевізників, що здійснюють внутрішні перевезення пасажирів автомобільним транспортом. Міські автобусні маршрути, незалежно від їх протяжності, належать до цієї категорії, а отже, водії, які працюють на таких маршрутах, підпадають під дію оновленого нормативного регулювання. Основою для цих змін є гармонізація українського законодавства з вимогами європейського права, зокрема нормами, аналогічними до Регламенту ЄС № 561/2006, що встановлює уніфіковані вимоги до тривалості керування, перерв і відпочинку водіїв.

Водночас аналіз оновленого Положення про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів показує, що ключові параметри режиму праці та відпочинку залишилися без суттєвих змін. Зокрема, як і раніше, встановлено обмеження тривалості безперервного керування транспортним засобом на рівні 4 годин 30 хвилин з обов'язковою перервою не менше 45 хвилин, максимальну тривалість змінного періоду керування – 9 годин із можливістю збільшення до 10 годин не частіше ніж двічі на тиждень, а також загальну тривалість робочої зміни в межах до 10 годин (з можливістю подовження до 12 годин за певних умов). Крім того, зберігається вимога щодо мінімальної тривалості щоденного (міжзмінного) відпочинку на рівні 11 годин. Таким чином, базові часові обмеження, що використовуються при побудові графіків роботи водіїв міського транспорту, залишаються незмінними.

Основні нововведення стосуються не стільки зміни тривалості робочого часу, скільки посилення контролю та обліку режимів праці та відпочинку. Зокрема, уточнено вимоги щодо використання тахографів, зберігання даних про робочий час та відпочинок водіїв, а також гармонізовано підходи до

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

документування діяльності водіїв відповідно до європейських стандартів. Це має особливе значення для міжміських і міжнародних перевезень, однак для міського пасажирського транспорту (особливо маршрутів протяжністю до 50 км) ці зміни носять обмежений характер і не впливають безпосередньо на структуру робочого дня водія.

Контрольний пристрій (тахограф) – обладнання, призначене для встановлення на транспортних засобах для відображення, реєстрації, друку, зберігання та виведення в автоматичному або напівавтоматичному режимі інформації про рух таких транспортних засобів (у тому числі їхню швидкість) та про певні періоди роботи та відпочинку їхніх водіїв [5].

Впровадження нових соціальних стандартів з 26 липня 2026 року не призводить до суттєвих змін у тривалості робочого часу, перерв чи відпочинку водіїв міського пасажирського транспорту. Відповідно, раніше систематизовані вимоги до режимів роботи водіїв (зокрема щодо двозмінного та перерваного режимів роботи, тривалості змін і перерв) залишаються актуальними і можуть без змін використовуватися при побудові графоаналітичних графіків роботи водіїв на маршрутах.

Метою дипломної роботи полягає в удосконалення методів раціональної організації роботи водіїв міського пасажирського транспорту з урахуванням диференційованих норм часу рейсу, в умовах планування міських пасажирських перевезень.

1.2 Види розкладу руху

У системі організації перевезень міського пасажирського транспорту застосовується декілька взаємопов’язаних видів розкладів руху, кожен з яких виконує окрему функцію в управлінні перевізним процесом. Основним серед них є маршрутний розклад, на базі якого формуються всі інші види розкладів, зокрема водійські, диспетчерські та інформаційні для пасажирів.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Основним видом розкладу є маршрутний (загальний) розклад, який встановлює часовий режим роботи транспортних засобів на кожному конкретному маршруті. Саме він визначає структуру перевізного процесу та є базою для розробки інших видів розкладів. На його основі складаються індивідуальні графіки роботи водіїв для кожного випуску, розклади для чергових на кінцевих станціях, що використовуються для контролю руху транспортних засобів, а також інформаційні розклади для пасажирів, які розміщуються на зупинках, особливо на маршрутах із великими інтервалами руху [4].

Зміст маршрутного розкладу полягає передусім у нормуванні часу виконання всіх елементів транспортного процесу. У ньому визначаються: час виїзду транспортних засобів із парку та їх виходу на маршрут із зазначенням напрямку руху; проходження контрольних пунктів; час прибуття та відправлення на кінцевих зупинках; тривалість і періоди відстою під час перерв; моменти перезмінки водіїв; а також узгодження роботи з іншими маршрутами, особливо на ділянках спільного проходження. Окрім цього, маршрутний розклад містить узагальнені експлуатаційні показники роботи як окремих транспортних засобів, так і маршруту в цілому. Важливо, що навіть за однакових вихідних умов може існувати кілька варіантів такого розкладу, і їх комплексна оцінка є складним завданням через різнорідність показників [4].

У зв’язку з цим процес розробки маршрутного розкладу має багатокритеріальний характер і може розглядатися як задача технічної кібернетики. На практиці застосовуються два принципово різні підходи до його формування. Перший передбачає складання розкладу для групи маршрутів, об’єднаних спільними кінцевими пунктами або значними ділянками сумісного проходження. Такий підхід дозволяє досягти більш рівномірного використання ресурсів, зокрема вирівняти тривалість змін водіїв і забезпечити регулярність руху на спільних ділянках. Водночас він потребує високого рівня надійності роботи транспортної системи, належного технічного стану рухомого складу, високої дисципліни водіїв та ефективної роботи диспетчерської служби,

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

оскільки будь-які порушення руху ускладнюють процес його відновлення. Крім того, у міських умовах такий підхід може призводити до зниження регулярності руху на ізольованих ділянках маршрутів і ускладнювати інформування пасажирів [4].

Другий підхід полягає у розробці розкладу окремо для кожного маршруту. Він є більш простим з точки зору організації та забезпечує вищу надійність функціонування транспортної системи, особливо при необхідності оперативного коригування руху. У цьому випадку всі параметри роботи маршруту визначаються індивідуально з урахуванням наявного рухомого складу, режимів праці водіїв і обмежень за автомобілегодинами роботи. Такий підхід є найбільш поширеним у практиці міських перевезень [4].

На основі маршрутного розкладу формується водійський розклад, який деталізує режим праці конкретного водія або екіпажу. Він включає інформацію про початок і закінчення зміни, послідовність рейсів, час перерв, відстою, місця та час перезмінки. Водійський розклад безпосередньо пов’язаний із вимогами трудового законодавства та режимами праці і відпочинку, тому є ключовим елементом у забезпеченні безпеки руху та раціональної організації роботи персоналу.

Інформаційний розклад для пасажирів призначений для доведення до користувачів транспорту відомостей про час відправлення транспортних засобів із зупиночних пунктів або інтервали руху. Як правило, він має спрощений вигляд і містить лише основні часові параметри, необхідні для планування поїздок. На маршрутах із високою частотою руху часто застосовується інтервальна форма подання, тоді як на маршрутах із великими інтервалами застосовують точний розклад часу відправлення [4].

Диспетчерський розклад використовується оперативними службами для контролю та регулювання руху транспортних засобів. Він містить більш детальну інформацію порівняно з пасажирським розкладом, зокрема фактичні та планові часи проходження контрольних пунктів, відхилення від графіка, а також

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

дані, необхідні для прийняття рішень щодо коригування руху. Саме диспетчерський розклад є інструментом забезпечення регулярності та стабільності перевезень у реальних умовах експлуатації.

У маршрутному розкладі відображаються результати обробки значних обсягів вихідної інформації, зокрема даних про пасажиропотоки, режими руху на вулично-дорожній мережі, технічний стан рухомого складу та забезпеченість водіями. У ньому деталізується випуск транспортних засобів на лінію, розподіляється обсяг транспортної роботи відповідно до попиту та ресурсних можливостей підприємства, а також враховуються обмеження, пов'язані з технологічними нормативами та вимогами трудового законодавства.

На основі цього документа визначаються ключові параметри роботи кожного випуску: час виїзду з парку, маршрут нульового рейсу, графік проходження контрольних пунктів із урахуванням змін швидкості руху протягом доби, час прибуття та відправлення на кінцевих зупинках, періоди відстою для відпочинку водіїв, організація перерв у міжпікові періоди, а також порядок зміни водіїв і завершення роботи з поверненням транспортного засобу в парк [4].

Таким чином, система розкладів руху має ієрархічну структуру, де маршрутний розклад виступає базовим документом, а інші його види забезпечують реалізацію, контроль і інформаційне супроводження перевізного процесу.

Існує кілька взаємопов'язаних видів розкладів руху (маршрутний, водійський, диспетчерський, пасажирський), де маршрутний є базовим; інші види деталізують, контролюють і відображають його для різних учасників перевізного процесу.

1.3 Вихідні дані щодо розробки розкладу руху (загалом)

Ефективна організація руху на маршрутах пасажирського автомобільного транспорту передбачає забезпечення освоєння існуючого пасажиропотоку з

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

мінімальними витратами перевізника та дотриманням нормативних вимог до якості транспортного обслуговування населення. Досягнення цього можливе за умови раціонального використання рухомого складу, встановлення необхідної кількості транспортних засобів відповідної пасажиромісткості, а також забезпечення належних експлуатаційних показників роботи маршруту. Одним із визначальних показників ефективності функціонування маршрутної системи, на думку експертів, є швидкість руху автобусів, оскільки саме вона впливає на продуктивність транспортних засобів, тривалість поїздки пасажирів, рівень експлуатаційних витрат та якість транспортного обслуговування. Крім того, досягнутий рівень швидкості руху характеризує ступінь організаційної впорядкованості перевізного процесу та безпосередньо пов'язаний із безпекою дорожнього руху [10].

1.3.1 Класифікація швидкостей руху

У практиці організації пасажирських перевезень розрізняють декілька видів швидкості руху, кожна з яких характеризує та оцінює окремі аспекти функціонування маршруту до них відносяться:

- технічна ($V_{\text{т}}$);
- швидкість сполучення (маршрутна швидкість) ($V_{\text{с}}$);
- експлуатаційна ($V_{\text{е}}$);
- ходова швидкість ($V_{\text{х}.i}$);
- максимальна (конструктивна) ($V_{\text{к}}$);
- гранично допустима ($V_{\text{гд}}$);
- крейсерська ($V_{\text{кр}}$);
- розрахункова швидкість ($V_{\text{р}}$) і т.д

Пропоную робити наступну градацію швидкостей руху:

Група 1. Організаційно-експлуатаційні швидкості.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Технічна швидкість ($V_{\text{Т}}$) – це середня швидкість рухомого складу за час його чистого руху, яка визначається як відношення загальної довжини маршруту (суми довжин усіх перегонів) до сумарного часу ходу по цих перегонах, включаючи затримки, що виникають безпосередньо в процесі руху через регулювання дорожнього руху (на перехрестях, світлофорах, переїздах тощо), але без урахування часу запланованих зупинок для посадки/висадки пасажирів [4, 10, 19, 20]. Технічна швидкість може визначатися для цілого оберту, для кожного маршруту окремо в обох напрямках:

Технічна швидкість для оберту руху:

$$V_{\text{Т}} = \frac{\sum_{j=1}^{2} L_{\text{м}.j}}{t_{\text{об}} - (t_{\text{пз}} \cdot n_{\text{пз}}) - (\sum_{j=1}^{2} t_{\text{кз}.j})}, \text{км/год} \quad (1.1)$$

Технічна швидкість за маршрутом, або напрямком руху:

$$V_{\text{Т}.j} = \frac{L_{\text{м}.j}}{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{х}.i} + \sum_{k=1}^{n} t_{\text{з}.k}}, \text{км/год}, \quad (1.2)$$

$$V_{\text{Т}.j} = \frac{L_{\text{м}.j}}{t_{\text{м}.j} - (t_{\text{пз}.j} \cdot n_{\text{пз}.j}) - \sum_{j=1}^{2} t_{\text{кз}.j}} = \frac{L_{\text{м}.j}}{t_{\text{рух}.j}}, \text{км/год}. \quad (1.3)$$

де: $L_{\text{м1}}, L_{\text{м2}}$ – довжина j – го маршруту (у прямому та зворотному напрямку), км;

$t_{\text{об}}$ – час оберту, год;

$t_{\text{м}.j}$ – час руху j – го маршруту (у прямому та зворотному напрямку), год;

$t_{\text{пз}.j}$ – середній час простою на проміжній зупинці j – го маршруту (у прямому та зворотному напрямку), год;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$n_{\text{пз}.j}$ – кількість проміжних зупинок j – го маршруту (у прямому та зворотному напрямку), од.;

$t_{\text{кз}.j}$ – час простою на кінцевій зупинці j – го маршруту (у прямому та зворотному напрямку), год;

$t_{\text{х}.i}$ – час ходу (руху) по i – му перегону, год;

$t_{\text{з}.k}$ – час k – ї випадкової або регуляторної затримки в дорозі (світлофори, затори, переїзди і т.д.), год;

$t_{\text{рух}.j}$ – час пересування j – го маршруту (у прямому та зворотному напрямку), год.

Швидкість сполучення (маршрутна швидкість) ($V_{\text{с}}$) – це середня швидкість, з якою здійснюється безпересадочне перевезення пасажирів (чи вантажів) за встановленим розкладом на шляху транспортної мережі, що обмежений кінцевими станціями (маршруті). Вона визначається як відношення загальної довжини цього маршруту до сумарного часу, витраченого як на безпосередній рух рухомого складу (включаючи затримки регулювання), так і на технологічні стоянки для посадки, висадки та очікування пасажирів на всіх проміжних зупинних пунктах. [4, 11, 19].

Маршрут – це визначений шлях у транспортній мережі між кінцевими зупинками (станціями), який складається з обладнаних ділянок та призначений для безпересадочного перевезення пасажирів закріпленим рухомим складом згідно із затвердженим розкладом руху [11].

Швидкість сполучення для оберту руху:

$$V_{\text{с}} = \frac{\sum_{j=1}^{2} L_{\text{м}.j}}{t_{\text{об}} - \sum_{j=1}^{2} t_{\text{кз}.j}}, \text{км/год.} \quad (1.4)$$

Швидкість сполучення за маршрутом, або напрямком руху:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$$V_{\text{с}.j} = \frac{L_{\text{м}.j}}{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{х}.i} + \sum_{k=1}^{n} t_{\text{з}.k} + \left(t_{\text{пз}.j} \cdot n_{\text{пз}.j}\right)}, \text{км/год.} \quad (1.5)$$

$$V_{\text{с}.j} = \frac{L_{\text{м}.j}}{\frac{L_{\text{м}.j}}{V_{\text{т}.j}} + \left(t_{\text{пз}.j} \cdot n_{\text{пз}.j}\right)}, \text{км/год.} \quad (1.6)$$

Експлуатаційна швидкість ($V_{\text{е}}$) – це інтегральний показник ефективності роботи транспорту, який відображає умовну середню швидкість рухомого складу за весь час його перебування в наряді на лінії або за час повного обороту на маршруті, або на маршруті за напрямком руху. Вона визначається як відношення подоланої відстані до сумарних витрат часу, що включають чистий рух (з регуляторними затримками), стоянки на проміжних зупинках для пасажирообігу, а також простої на кінцевих станціях [4, 11, 12, 19, 20].

Разом зі швидкістю сполучення, експлуатаційна швидкість є визначальним параметром для нормування часу рейсу та розрахунку графіків руху.

Експлуатаційна швидкість є найважливішим показником роботи транспорту, оскільки вона безпосередньо характеризує швидкість обороту рухомого складу.

Її зміна має лінійну залежність на економіку перевезень, а саме: на потрібну кількість маршрутних транспортних засобів, чим експлуатаційна швидкість, тим швидше машина здійснює повний оборот, і тим менша кількість транспортних засобів потрібна для забезпечення заданого обсягу перевезень та інтервалу руху. Зменшення потреби в рухомому складі пропорційно скорочує розмір транспортного господарства (площі депо, матеріально-технічну базу і т.п). Менша кількість машин на лінії вже призводить до зменшення чисельність необхідного обслуговуючого персоналу та водіїв (потрібно тримати в голові, що затримки в русі, поява заторів на перегонах буде потребувати збільшення

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

кількості транспортних засобів з меншою пасажиромісткістю, тому варто шукати баланс).

Також потрібно розуміти, що в наслідку, максимізація експлуатаційної швидкості мінімізує собівартість однієї пасажиро-поїздки або пасажиро-кілометра.

Експлуатаційна швидкість для оберту руху:

$$V_{\text{е}} = \frac{\sum_{j=1}^{2} L_{\text{м}.j}}{t_{\text{об}}}, \text{км/год.} \quad (1.7)$$

Експлуатаційна швидкість за маршрутом, або напрямком руху:

$$V_{\text{е}.j} = \frac{L_{\text{м}.j}}{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{х}.i} + \sum_{k=1}^{n} t_{\text{з}.k} + \left(t_{\text{пз}.j} \cdot n_{\text{пз}.j}\right) + \sum_{j=1}^{2} t_{\text{кз}.j}}, \text{км/год.} \quad (1.8)$$

$$V_{\text{е}.j} = \frac{L_{\text{м}.j}}{\frac{L_{\text{м}.j}}{V_{\text{с}.j}} + t_{\text{кз}.j}}, \text{км/год.} \quad (1.9)$$

У загальному вигляді справедлива нерівність [12]:

$$V_{\text{т}} > V_{\text{с}} > V_{\text{е}}$$

Група 2. Локально-динамічні (ходові) швидкості.

Ходова швидкість ($V_{\text{х}.i}$) – це середня швидкість руху транспортного засобу безпосередньо на перегоні. Вона визначається як відношення довжини цього перегону до часу ходу ($t_{\text{х}.i}$) між суміжними зупинними пунктами [11].

Час ходу ($t_{\text{х}.i}$) – це тривалість чистого руху транспортного засобу на перегоні, яка обчислюється з моменту початку руху (рушання) від одного

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

зупинного пункту до моменту повної зупинки на наступному суміжному пункті. Цей час включає як безпосередній рух із крейсерською швидкістю, так і фази розгону, уповільнення та можливі випадкові чи регуляторні затримки в дорозі (на світлофорах, перехрестях тощо) [11].

Перегін – це елементарна ділянка транспортної мережі, що сполучає два сусідні (суміжні) зупинні пункти. Він є базовою просторовою одиницею маршруту, в межах якої здійснюється безперервний рух транспортного засобу між технологічними зупинками для пасажирообігу [11].

Ходова швидкість визначається за наступною формулою:

$$V_{\text{х}.i} = \frac{l_i}{t_{\text{х}.i}}, \text{км/год.} \tag{1.10}$$

де: l_i – довжина i – го перегону, км;

Ходову швидкість доцільно розглядати як інтегральний елемент, що пов'язує параметри руху маршрутного транспорту з характеристиками загального транспортного потоку та інфраструктури. Вона виступає функцією залежності швидкості від щільності та інтенсивності руху, геометричних параметрів проїзної частини (кількості та ширини смуг), а також часової нерівномірності транспортного навантаження протягом доби. У кінцевому підсумку, динаміка ходової швидкості безпосередньо визначає тривалість обороту рухомого складу та формує нормативну потребу в кількості автобусів на маршруті, що також впливатиме на диференційовані норми часу оберту.

Крейсерська швидкість ($V_{\text{кр}}$) – це стабільний, найекономічніший режим руху транспортного засобу на перегоні між зупинними пунктами. Вона забезпечує мінімальну питому витрату палива (або електроенергії) та найменше зношування вузлів і агрегатів рухомого складу при збереженні сталої швидкості потоку.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

У теорії транспортних процесів крейсерська швидкість розглядається як цільовий орієнтир для водіїв під час руху на стабілізованих ділянках перегону (після фази розгону та до початку фази гальмування перед зупинкою).

Група 3. Техніко-нормативні (обмежувальні) швидкості.

Конструктивна швидкість ($V_к$) – це абсолютна верхня межа технічних можливостей рухомого складу, що зумовлена параметрами його двигуна, трансмісії та елементів шасі. Вона зазначається заводом-виготовлювачем у технічній характеристиці транспортного засобу як максимальна швидкість, яку автомобіль здатний розвинути на горизонтальній ділянці дороги з твердим покриттям у сухих метеорологічних умовах [4, 19].

У реальних умовах пасажирських перевезень (особливо на міських маршрутах з обмеженою довжиною перегонів і частими зупинками) конструктивна швидкість залишається невикористаною, виступаючи лише теоретичним лімітом потенціалу техніки.

Гранично допустима швидкість на перегоні ($V_{гд}$) – це максимально дозволена швидкість руху транспортного засобу на конкретній ділянці маршруту, що встановлюється чинними Правилами дорожнього руху (ПДР), Правилами технічної експлуатації (ПТЕ) відповідного виду транспорту, або диктується геометрією проїзної частини з міркувань безпеки [4, 11].

Під впливом факторів міського середовища (інтенсивний пішохідний рух, щільний трафік, світлофорне регулювання) конструктивна швидкість транспортного засобу трансформується у максимально можливу в даних умовах – гранично допустиму.

У загальному вигляді справедлива нерівність [11]:

$$V_{гд} < V_к$$

*Згідно з ПДР України, максимальна швидкість руху транспортних засобів у населених пунктах становить не більше 50 км/год (пункт 12.4 ПДР), якщо

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

дорожніми знаками не встановлено інший режим руху. Цей показник є базовим обмеженням при нормуванні швидкостей на міських маршрутах [13].

Розрахункова швидкість ($V_р$) – це гранична швидкість руху поодинокого автомобіля, яка гарантує повну безпеку та безаварійність ходу на усій довжині дороги за нормальних умов погоди та зчеплення з покриттям [20].

1.3.2 Зв'язок «швидкість руху-інтенсивність руху-щільність» транспортного потоку

В організації дорожнього руху миттєва швидкість руху є фактичною швидкістю поодинокого транспортного засобу, виміряною в конкретному місці (перерізі дороги, перегоні), у даний момент часу та в певних дорожніх умовах на короткій ділянці шляху [25, 26].

На основі множини таких індивідуальних вимірів формується середня швидкість транспортного потоку, яка є інтегральним статистичним значенням швидкостей усіх автомобілів, що рухаються в цьому потоці [25, 26].

Математичним виразом цього показника виступає середня миттєва швидкість, яка обчислюється як середнє арифметичне значення з ряду миттєвих швидкостей, зафіксованих на даному відрізку дороги (перегоні), і безпосередньо характеризує загальний темп руху всього транспортного потоку [28].

Для спрощення розрахунків в організації дорожнього руху прийнято при визначенні параметрів транспортного потоку використовувати приведені значення транспортних засобів, до легкових автомобілів. Для цього використовують коефіцієнти приведення наведені в Додатку А [28].

Миттєва швидкість транспортного засобу [28]:

$$V_{i-j} = 3{,}6 \cdot \frac{l_{i-j}}{t_{i-j}}, \text{км/год.} \quad (1.11)$$

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

де: l_{i-j} – довжина ділянки заміру, м;

t_{i-j} – час проходження замірюванної ділянки транспортним засобом, с;

i – номер категорії транспортного засобу;

j – номер заміру.

Середня швидкість транспортного потоку [28]:

$$V_{\text{кат.}i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_{i-j}}{n}, \text{км/год.} \quad (1.12)$$

де: n – кількість замірів за категорією i.

Швидкість транспортного потоку [28]:

$$V_{\text{П}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_{\text{кат.}i}}{k}, \text{км/год.} \quad (1.13)$$

де: k – кількість категорій автомобілів.

Ходова швидкість маршрутних автобусів на кожному окремому перегоні є величиною змінною і безпосередньо залежить від загальної швидкості транспортного потоку, фактично дублюючи її динаміку. Автобус, здійснюючи рух у змішаному потоці, змушений підлаштовувати свій швидкісний режим під темп руху сусідніх автомобілів.

Своєю чергою, середня миттєва швидкість транспортного потоку на перегоні формується під впливом комплексу факторів. Окрім базових геометричних параметрів вулично-дорожньої мережі (кількість та ширина смуг руху), критичний вплив мають локальні завади: наявність пішохідних переходів, попереджувальних знаків та безпосередньо зупинкових пунктів міського пасажирського транспорту [27].

У зоні впливу зупинкових пунктів швидкість потоку додатково деградує залежно від типу рухомого складу пасажирського транспорту, інтенсивності

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

його руху, наявності чи відсутності заїзних «кишень», а також щільності супутніх пішохідних потоків. Таким чином, ходова швидкість автобуса на перегоні є функцією від поточного стану та характеристик усього змішаного транспортного потоку [27].

Як правило, для довгострокового прогнозування та моделювання інтенсивності транспортного потоку на ділянках дорожньої мережі (зокрема в зонах зупинок) застосовують мультирегресійні гравітаційні моделі або експерементально-емпіричні формули, де інтенсивність виступає як функція факторів впливу. Тобто береться базова (теоретична) пропускна спроможність смуги руху за ідеальних умов та помножується на коефіцієнти зниження пропускної здатності під впливом локальних факторів [30].

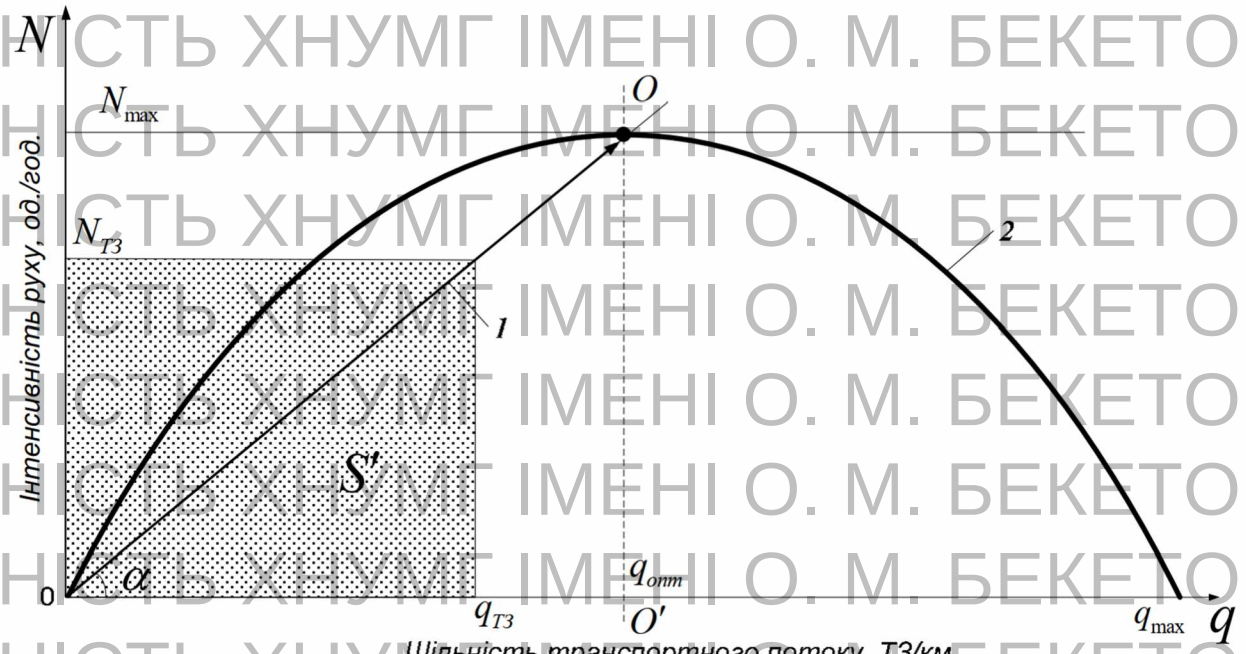


Рисунок 1.2 Залежність інтенсивності транспортного потоку від його щільності (фундаментальна діаграма):

1 – радіус-вектор середньої швидкості руху, км/год;

2 – графік функціональної залежності інтенсивності від щільності;

O–O′ – лінія критичного перерізу діаграми (ліва вітка – область стабільного руху за нормальних умов; права вітка – область нестабільного руху в умовах затору);

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$q_{ТЗ}$ – щільність транспортного потоку (ТЗ/км);

$N_{ТЗ}$ – інтенсивність руху (од./год);

N_{max} – максимальна пропускна здатність ділянки за оптимальних умов (од./год);

$q_{опт.}$ – оптимальна щільність потоку, що відповідає максимальній інтенсивності (ТЗ/км);

q_{max} – гранична (максимальна) щільність за повної зупинки потоку (ТЗ/км);

S′ – площа геометричного прямокутника, еквівалентна поточному значенню інтенсивності;

α – кут нахилу вектора швидкості до осі абсцис.

Фундаментальна залежність теорії транспортних потоків описує математичний взаємозв'язок і закономірності зміни ключових параметрів руху автомобільного потоку (інтенсивності, щільності та швидкості), що виражається такою класичною формулою (основна транспортна діаграма) [16, 30]:

$$N_{i-j} = V_{i-j} \cdot q_{i-j}, \text{авт./год.} \quad (1.14)$$

Середня швидкість транспортного потоку напряму виводиться як співвідношення інтенсивності транспортного потоку та щільності транспортного потоку з основної транспортного рівняння [16, 30]:

$$V_a = \frac{N_a}{q_a} = \tan\alpha, \text{км/год.} \quad (1.15)$$

Ще в першій половині XX століття вчений Гріншілдс заклав математичну модель, яку досі всюди використовують при побудові основної транспортної діаграми. В основі його підходу лежить лінійна залежність швидкості руху від щільності потоку, яка має наступний вигляд:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$$V(q) = V_{\text{ву}} \cdot (1 - \frac{q}{q_{max}}), \text{км/год.} \quad (1.16)$$

де: $V_{\text{ву}}$ – швидкість руху у вільних умовах, км/год;

q – поточна щільність транспортного потоку, ТЗ/км;

q_{max} – гранична (максимальна) щільність за повної зупинки потоку (ТЗ/км), (100-120 авт./км) [28];

Підставляючи модель в основне транспортне рівняння виводиться наступний вираз/залежність:

$$N(q) = q \cdot V_{\text{ву}} \cdot \left(1 - \frac{q}{q_{max}}\right) = V_{\text{ву}} \cdot q - \frac{V_{\text{ву}}}{q_{max}} \cdot q^2, \text{авт./год.} \quad (1.17)$$

Корені рівняння, значення при яких парабола буде перетинати вісь ОХ:

$$D = \sqrt{{V_{\text{ву}}}^2 - \left(4 \cdot \frac{-V_{\text{ву}}}{q_{max}} \cdot 0\right)} = |V_{\text{ву}}|, \quad (1.18)$$

$$q_1 = \frac{-V_{\text{ву}} + V_{\text{ву}}}{-2 \cdot \frac{V_{\text{ву}}}{q_{max}}} = 0, \quad \text{авт./км}, \quad (1.19)$$

$$q_2 = \frac{-V_{\text{ву}} - V_{\text{ву}}}{-2 \cdot \frac{V_{\text{ву}}}{q_{max}}} = q_{max}, \quad \text{авт./км}, \quad (1.20)$$

Координати вершини параболи (точка $q_{\text{опт.}}$):

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$$x_{q_{\text{опт.}}} = \frac{-V_{\text{ву}}}{-2 \cdot \frac{V_{\text{ву}}}{q_{max}}} = \frac{q_{max}}{2}, \quad \text{авт./км,} \tag{1.21}$$

$$y_{q_{\text{опт.}}} = N(q) = V_{\text{ву}} \cdot \frac{q_{max}}{2} - \frac{V_{\text{ву}}}{q_{max}} \cdot \frac{{q_{max}}^2}{2^2} = \frac{V_{\text{ву}} \cdot q_{max}}{2} - \frac{V_{\text{ву}} \cdot q_{max}}{4} = \frac{V_{\text{ву}} \cdot q_{max}}{4}, \text{авт./км.} \tag{1.22}$$

Слід зазначити, що побудова діаграми «інтенсивність - щільність» дозволяє визначити значення граничної та оптимальної пропускної спроможності з погляду завантаження дороги рухом, та швидкості на різних ділянках доріг, яку можна визначити за виразом [30]:

$$V_a = V_{\text{ву}} - \beta \cdot q + \alpha \cdot \rho, \text{км/год.} \tag{1.23}$$

де: α, β – емпіричні коефіцієнти рівняння;

ρ – кількість легкових автомобілів у потоці, %.

Інтенсивність руху транспортного потоку – це кількість транспортних засобів, яка пройшла поперечний переріз вулиці або дороги (тобто уявну лінію, котру проведено перпендикулярно до вертикальної осі дороги) за обрану одиницю часу. Інтенсивність руху прийнято та можна розглядати у фактичних одиниця (авт./год.), коли потрібно встановити фізичну кількість транспортних засобів, а також у приведених одиницях (од./год.), коли транспортний потік, з урахуванням динамічних габаритів транспортних засобів, переводяться до умовного легкового автомобіля [14, 16].

Для руху транспортних потоків властиві нерівномірності рух протягом досліджуваного часу (а також для – ділянки «просторова нерівномірність»). При визначенні диференційованих норм часу рейсу під час розробки розкладу руху

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

маршрутного пасажирського транспорту необхідно обов'язково враховувати зміну інтенсивності транспортного потоку вподовж року, місяця, доби, а також окремих годин. Особливо суттєвий вплив мають так звані пікові періоди, у межах яких спостерігається найбільше навантаження на вулично-дорожню мережу, зниження швидкості сполучення та ускладнення умов руху. Саме в ці проміжки часу виникають найбільш складні завдання щодо організації та регулювання перевезень, оскільки збільшується тривалість виконання рейсу, порушується рівномірність інтервалів руху та знижується надійність дотримання розкладу. Тому для забезпечення стабільної роботи маршрутного транспорту норми часу рейсу повинні встановлюватися диференційовано з урахуванням характерних змін транспортної ситуації в різні часові періоди [14, 16].

Години «пік», піковий період, peak hour traffic – найбільший обсяг трафіку, виміряний протягом дня (протягом однієї години). Примітка: зазвичай враховуються дві години пік: «ранкова» година пік та «вечірня» година пік. [14, 17]

Година пік, hour with – Година з найвищим попитом на трафік та кількістю пасажирів громадського транспорту протягом дня [14, 17, 18]

Часова нерівномірність транспортних потоків характеризується відповідним коефіцієнтом нерівномірності інтенсивності транспортного потоку. Цей коефіцієнт може бути розрахований для річної, добової та годинної нерівномірності руху. Коефіцієнт нерівномірності інтенсивності транспортного потоку може бути визначений за формулою:

$$K_i = \frac{N_{\text{пер.}_i} \cdot i}{N_{\text{заг.}}}, \tag{1.24}$$

або:

$$K = \frac{N_{\text{пер.}_i}}{\bar{N}}, \tag{1.25}$$

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

де: $N_{\text{пер.}_i}$ – інтенсивність руху в досліджуваний період, авто./час.;

(в залежності від досліджуваного періоду може приймати значення: авто/год, авто/день, авто/місяць)

i – кількість досліджуваних періодів, од.;

(в залежності від досліджуваного періоду може приймати значення: 24 (годин на добу), 28,30, 31 (кількість днів на місяць), 12(кількість місяців на рік))

$N_{\text{заг.}}$ – сумарна інтенсивність руху за всі досліджувані періоди, авто./час.;

(також визначається в залежності від досліджуваного періоду може приймати значення: авто/год, авто/день, авто/місяць)

$$N_{\text{заг.}} = \sum_{i=1}^{i} N_{\text{пер.}_i}, \tag{1.26}$$

$\bar{N}$ – середня інтенсивність транспортного потоку за досліджуваний період.

$$\bar{N} = \frac{N_{\text{заг.}}}{i}, \tag{1.27}$$

На базі аналізу добової нерівномірності транспортних потоків можна встановити, що характер зміни інтенсивності руху протягом доби суттєво залежить від рівня завантаження окремих ділянок вулично-дорожньої мережі. Для магістральних напрямків із високою інтенсивністю руху властивим є більш прогнозований та стабільно повторюваний процес формування пікових навантажень, що зумовлено концентрацією трудових і побутових кореспонденцій населення у визначені години доби. Внаслідок цього при встановленні диференційованих норм часу рейсу доцільним є врахування транспортних зон, або характеристики вулично-дорожні мережі, до яких належать окремі перегони маршруту пасажирського транспорту [14].

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Наприклад, при дослідженні закономірностей формування умов дорожнього руху важливо звертати увагу на структури магістралей. Бо, к прикладу, на двосмугових міських вулицях та дорогах без розділової смуги, де взаємодія зустрічних транспортних потоків має безперервний характер через маневри випередження (обгону) та динамічний взаємовплив на габарити смуги руху, це може стати вагомим фактором впливу на інтенсивність транспортних потоків обох зустрічних напрямків. В тому числі цей інтегральний показник буде мати вагому роль при оцінці рівня завантаження перегонів та прогнозуванні часових затримок транспортних засобів [28, 30].

У протилежному випадку при чіткому поділі зустрічних напрямків руху (за наявності конструктивного бар'єра, штучних споруд або розподільних смуг) вплив інтенсивності втрачає свою функціональну інформативність, що робить цей фактор більше не значущим для розрахунку розкладу руху автобусів [28, 30].

Таким чином, для вирішення завдань транспортного планування, оптимізації швидкісних режимів руху міського пасажирського транспорту та оцінки пропускної спроможності ізольованих систем, важливим буде розглядати поділу між зустрічними смугами руху, а також окремо оцінювати кожну полосу руху [28, 30].

1.3.3 Час оберту пасажирського транспорту. Вираження часу оберту через швидкості руху

Час оберту – це повний час, який витрачає транспортний засіб (автобус, тролейбус, трамвай) на проїзд від початкової до кінцевої зупинки маршруту та у зворотному напрямку. Маршрут може бути маятниковим, кільцевим, радіальним, але час оберту відповідає часу необхідному для автобусу, щоб проїхати від першої кінцевої зупинки, до другої кінцевої зупинки, та руху в зворотному напрямку до першої до моменту початку другого оберту.

Базову структуру часу оберту можна виразити наступним чином [21]:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$$t_{\text{об.}} = t_{\text{руху}} + t_{\text{пз.}} + t_{\text{кз}}, \text{год.} \quad (1.28)$$

де: $t_{\text{руху}}$ – сумарний час руху з урахуванням затримок, пов'язаних з організацією дорожнього руху, хв (год.);

$t_{\text{пз.}}$ – сумарний час пасажирообміну на проміжних зупинних пунктах маршруту в обох напрямках, хв (год.);

$t_{\text{кз}}$ – сумарний час простою (відстою) на кінцевих зупинках маршруту, хв (год.).

Час оберту через технічну швидкість можна виразити наступним чином:

$$t_{\text{об.}} = \frac{\sum_{j=1}^{2} L_{\text{м.}j}}{V_{\text{т}}} + t_{\text{пз.}} + t_{\text{кз}}, \text{год.} \quad (1.29)$$

Час оберту через швидкість сполучення можна виразити наступним чином:

$$t_{\text{об.}} = \frac{\sum_{j=1}^{2} L_{\text{м.}j}}{V_{\text{с}}} + t_{\text{кз}}, \text{год.} \quad (1.30)$$

Час оберту через експлуатаційну швидкість можна виразити наступним чином:

$$t_{\text{об.}} = \frac{\sum_{j=1}^{2} L_{\text{м.}j}}{V_{\text{е}}}, \text{год.} \quad (1.31)$$

Час оберту через ходову швидкість можна виразити наступним чином:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$$t_{\text{рух.}j} = \sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{V_{\text{х.}i}} + t_{\text{пз.}} + t_{\text{кз}}, \text{ год.} \qquad (1.32)$$

У формулі часу оберту через ходову швидкість можна спостерігати пряму залежність часу оберту в залежності від дорожніх умов.

Основою для розробки раціонального розкладу руху є комплексний облік експлуатаційних швидкостей, інтенсивності транспортного потоку та часу оберту. Встановлено, що ходова швидкість та швидкість сполучення маршрутного транспорту безпосередньо залежать від щільності змішаного транспортного потоку та локальних інфраструктурних затримок, що математично підтверджується основною транспортною діаграмою. Зі збільшенням інтенсивності руху в пікові періоди швидкість неминуче деградує, що лінійно збільшує час виконання рейсу.

Відповідно, час оберту пасажирського транспорту не є сталою величиною, а зазнає суттєвих коливань під впливом часової та просторової нерівномірності руху. Використання єдиних статичних показників швидкості для планування роботи на лінії призводить до накопичення відставання та «злипання» автобусів. Тому для забезпечення стабільності розкладу та регулярності перевезень критично необхідним є перехід від статичних до диференційованих норм часу оберту, які враховуватимуть динаміку транспортного навантаження в різні години доби.

1.4 Нормування швидкості руху (часу рейсу, часу оберту) маршрутних транспортних засобів

Одним із найважливіших етапів організації пасажирських перевезень є визначення параметрів руху транспортних засобів на маршрутах. Від правильності встановлення часу рейсу та режимів руху безпосередньо залежать

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

регулярність перевезень, дотримання інтервалів руху, ефективність використання рухомого складу та якість транспортного обслуговування населення [2, 4].

У процесі функціонування маршрутної системи міського пасажирського транспорту значний вплив на виконання розкладу руху здійснюють умови руху на вулично-дорожній мережі міста. У реальних умовах експлуатації тривалість виконання рейсу не є постійною величиною та змінюється залежно від інтенсивності транспортного потоку, рівня завантаження вуличної мережі, погодних умов, пасажирообміну на зупиночних пунктах та інших факторів [1; 14, 16].

1.4.1 Нормування швидкості руху автобусів на маршруті

Як було розглянуто у підрозділі 1.3, одним із основних експлуатаційних показників роботи маршрутного транспорту є швидкість руху автобусів, величина яка безпосередньо впливає на тривалість рейсу (маршруту), час оберту, що змушує міняти параметри розкладу руху. Зниження швидкості руху транспортних засобів у години найбільшого транспортного навантаження призводить до збільшення часу рейсу, порушення регулярності руху та необхідності коригування режимів роботи маршруту [3, 4].

Головною метою нормування швидкості руху автобусів на маршруті є забезпечення безпеки, збільшення ефективності експлуатації рухомого складу, раціоналізації використання робочого труду водіїв та зменшення часових втрат водіїв на здійснення поїздки [16, 24].

Первинне нормування швидкостей руху міського пасажирського транспорту здійснюється під час відкриття нового маршруту. Надалі плановий перегляд часових нормативів виконується щонайменше двічі на рік - перед початком весняно-літнього та осінньо-зимового періодів експлуатації [16; 24].

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Позачергове коригування встановлених норм часу рейсу проводиться у випадках [16, 24]:

- зміни траси маршруту (що потребує додаткового розрахунку часових витрат на проїзд новою ділянкою);
- суттєвої зміни умов дорожнього руху на перегонах;
- надходження обґрунтованих скарг від водіїв щодо неможливості дотримання діючого розкладу через об'єктивні затримки в дорозі.

При розрахунку граничної норми часу рейсу як лімітувальні фактори обов'язково враховують такі види швидкостей [16, 24]:

1. Конструктивну швидкість ($V_к$) - максимальну швидкість руху, що визначена технічними характеристиками конкретної моделі рухомого складу та встановлена заводом-виробником.

2. Гранично допустиму швидкість ($V_{гд}$) - максимальну швидкість, що регламентована Правилами дорожнього руху (ПДР) для відповідних категорій вулиць і ділянок дорожньої мережі.

3. Середньоходову швидкість ($\overline{V_{хі}}$) - розрахункову швидкість руху на перегонах маршруту, яка відображає чистий час ходу без урахування затримок на розгін, гальмування та пасажирообіг.

Тягово-динамічні властивості автобусів відіграють визначальну роль у процесі розгону транспортного засобу до середньоходової швидкості після відновлення руху від зупинкових пунктів. Величина прискорення безпосередньо зумовлюється питомою потужністю силової установки, розрахованою на одиницю повної маси автобуса, і для кваліфікованого персоналу в середньому становить 0, 8 ... 1,0 м/с2. Уповільнення автобуса за умов штатного (службового) гальмування перебуває в межах 1, 5 ... 1,9 м/с2. На противагу цьому, у водіїв із недостатнім рівнем досвіду показники прискорення під час розгону знижуються до 0,5 ... 0,6 м/с2, а сповільнення при гальмуванні становить 1, 1 ... 1, 3 м/с2. Окрім цього, суттєвий вплив на стабільність розкладу руху чинить

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

психофізіологічний стан водія: через накопичення втомлюваності наприкінці робочої зміни фактична тривалість виконання рейсів зростає на 3 . .. 4% [16, 24]..

Динамічні характеристики транспортного потоку, у якому здійснює рух пасажирський автобус, починають лімітувати його середньоходову швидкість за умови, що інтенсивність руху перевищує межу в 390 приведених од./год на одну смугу руху. Якщо поточна інтенсивність змішаного потоку (NТп) є нижчою за це граничне значення, його деструктивним впливом на швидкісний режим автобуса можна знехтувати. За усереднених умов функціонування транспортної системи розрахункова технічна швидкість руху рухомого складу наближено визначається за емпіричною залежністю [16; 24]:

$$V_{\text{т}} = \frac{2322{,}6}{(n_{\text{тп}} + 19{,}8)} + 6{,}75, \qquad (1.33)$$

Суттєвий вплив на зміну швидкості міського пасажирського транспорту чинить наявність поздовжніх похилів (підйомів та ускладнених уклонів) проїзної частини, величина яких перевищує 2%. У загальному вигляді коефіцієнт поздовжнього похилу розраховується як відношення сумарної висоти всіх підйомів і спусків до загальної протяжності траси маршруту або її окремої досліджуваної ділянки.

Залежно від топографічних особливостей місцевості, значення коефіцієнта поздовжнього похилу на автобусних маршрутах диференціюють за такими інтервалами [16, 24]:

- для рівнинного рельєфу - 0,01 ... 0,03;
- для середньовираженого (пагорбистого) рельєфу - 0,03 . .. 0,08;
- для сильновираженого (пересіченого або гірського) рельєфу - 0,08 ... 0,20.

Додатковим інфраструктурним чинником зниження швидкості є рівень видимості: у нічний час доби за умови відсутності або неефективної роботи

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

штучного вуличного освітлення середня швидкість руху автобуса падає на 12 ... 15%.

1.4.2 Нормування часу рейсу, обороту автобусів на маршруті

У сучасних умовах міського руху транспортні потоки характеризуються значною нерівномірністю протягом доби. Найбільше навантаження на вулично-дорожню мережу спостерігається у години «пік», коли відбувається суттєве збільшення інтенсивності руху транспортних потоків та пасажиропотоків. Визначення пікових періодів руху наведено у міжнародній транспортній термінології PIARC та ITS Terminology, де година «пік» характеризується максимальним рівнем транспортного навантаження на елементи транспортної системи [17, 18].

При цьому сам термін «година пік» є умовним, оскільки фактична тривалість періоду максимальної інтенсивності може бути як меншою, так і більшою за одну годину. У ці періоди формуються найбільш складні умови для організації руху, що потребує врахування при складанні розкладів.

Крім інтенсивності транспортного потоку, на тривалість виконання рейсу впливають [4, 16, 24]:

- Геометричні характеристики вулиць (профіль дороги, число смуг руху, звуження проїзної частини);
- Стан дорожнього покриття та рівень освітленості дороги;
- Частота розташування зупинних пунктів на маршруті;
- Наявність ділянок із ускладненими умовами руху та залізничних переїздів.
- Кількість, координація та режими роботи світлофорних об'єктів на шляху прямування;
- Фактична пропускна здатність перехресть;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- Наявність (або відсутність) виділеної смуги руху для пасажирського маршрутного транспорту;
- Встановлені дорожніми знаками та ПДР обмеження швидкості руху на окремих ділянках.
- Загальна інтенсивність пасажиропотоку на маршруті;
- Інтенсивність посадки та висадки пасажирів на конкретних зупинках;
- Питома кількість пасажирів, що припадає на одні двері автобуса під час посадки-висадки.
- Тягово-динамічні якості та загальні технічні характеристики автобусів;
- Конструктивні особливості пасажирського салону та посадкових пристроїв (кількість і ширина дверей, висота та кількість підніжок, розташування поручнів).
- Погодні (кліматичні) умови руху (опади, видимість, ожеледиця);
- Кваліфікація, досвід роботи та психофізіологічний стан водія автобуса [3, 4, 10, 20].

Інтенсифікація та прискорення процесів пасажирообміну в зонах зупинок досягається шляхом оптимізації конструктивних параметрів кузова: зменшення кількості та висоти східців (перехід на низькопідлоговий рухомий склад), збільшення корисної ширини дверних пройм, а також за рахунок зниження питомої кількості пасажирів, які припадають на одні двері, та недопущення надмірного переповнення салону. У середньому витрати часу на відкриття дверей становлять 2 секунди, а на їхнє закриття – 3 секунди (без урахування додаткових затримок, спричинених блокуванням пасажирами зони накопичувальних майданчиків у години «пік»). Безпосередній час посадки та висадки одного пасажира триває приблизно 2 секунди. Проте цей норматив є динамічним і нелінійно зростає в міру збільшення загального коефіцієнта наповнення салону автобуса (Рисунок 1.2). Додатково в осінньо-зимовий період експлуатації через специфіку сезонного одягу пасажирів тривалість посадки-висадки зростає ще на 8 ... 10% [16, 24].

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Добова інтенсивність транспортних потоків є важливим вихідним параметром не лише для розробки розкладів руху, але й для стратегічного планування розвитку транспортних систем. Вона використовується при розробці схем і проектів планування територій, техніко-економічних обґрунтувань транспортних споруд, розвитку маршрутної мережі пасажирського транспорту та організації дорожнього руху [14].

Особливо значний вплив на час руху транспортних засобів здійснює пасажирообмін на зупиночних пунктах. Зі збільшенням кількості пасажирів зростає тривалість простою транспортного засобу під час посадки та висадки, що безпосередньо впливає на загальну тривалість рейсу. Найбільш суттєво це проявляється у центральних частинах міста, поблизу транспортно-пересадочних вузлів, станцій метрополітену, ринків, закладів освіти та великих об'єктів тяжіння пасажиропотоків [1, 21].

У процесі організації перевезень важливе значення має забезпечення стабільності виконання розкладу руху. Порушення часових параметрів рейсу призводить до збільшення відхилень від графіка, нерівномірності інтервалів руху, переповнення транспортних засобів та зниження рівня транспортного обслуговування пасажирів [4, 24].

Нерівномірність умов руху маршрутного транспорту протягом доби обумовлена як просторовою, так і часовою нерівномірністю транспортних потоків. Залежно від району проходження маршруту, періоду доби, рівня завантаження вулично-дорожньої мережі та інтенсивності пасажирообміну фактичний час виконання рейсу може суттєво відрізнятися навіть для одного й того самого маршруту. Особливо це характерно для центральних районів великих міст, де спостерігається підвищена концентрація транспортних і пасажирських потоків, значна кількість регульованих перехресть та ускладнені умови руху.

Для забезпечення стабільної роботи маршруту здійснюється нормування швидкості руху та часу рейсу. Під нормуванням часу рейсу розуміють процес

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

визначення планової тривалості виконання рейсу, або часу оберту, з урахуванням умов руху та особливостей функціонування маршруту [4].

Основною метою нормування часу рейсу є:

- забезпечення регулярності руху транспортних засобів;
- підвищення надійності транспортного обслуговування;
- раціональне використання рухомого складу;
- забезпечення дотримання встановлених інтервалів руху;
- створення умов для стабільного виконання розкладу руху [2, 4].

У практиці організації пасажирських перевезень застосовують два основних методи нормування часу рейсу:

- хронометражний;
- розрахунковий.

Хронометражний метод базується на проведенні безпосередніх спостережень за роботою транспортних засобів на маршруті та визначенні фактичної тривалості виконання рейсів у реальних умовах експлуатації. Під час проведення хронометражних обстежень визначають:

- тривалість руху між зупиночними пунктами;
- час затримок на перехрестях;
- тривалість посадки та висадки пасажирів;
- тривалість простоїв на кінцевих пунктах;
- загальний час виконання рейсу [4, 16, 24].

Перевагою хронометражного методу є можливість урахування фактичних умов руху транспортних засобів на маршруті. Разом із тим даний метод потребує проведення багаторазових спостережень у різні періоди доби та дні тижня, оскільки умови руху на маршрутах міського пасажирського транспорту характеризуються значною нерівномірністю [4].

Розрахунковий метод передбачає визначення часу рейсу на основі експлуатаційних характеристик маршруту та параметрів руху транспортних потоків. При використанні даного методу маршрут поділяють на окремі ділянки,

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

для яких визначають розрахункові швидкості руху та тривалість проходження [3, 15].

У сучасних умовах розвитку транспортних систем важливого значення набуває використання автоматизованих систем моніторингу руху транспортних засобів. Використання GPS-навігації та систем диспетчерського контролю дозволяє отримувати фактичні дані щодо часу руху автобусів, тривалості затримок, середніх швидкостей руху та рівня дотримання розкладу [1, 15].

На основі результатів обстежень та аналізу умов руху визначається норма часу на виконання рейсу. Норма часу рейсу повинна забезпечувати можливість стабільного виконання розкладу руху з урахуванням умов експлуатації маршруту та допустимих коливань часу руху [4].

Стандартне розуміння норми часу на рейс визначаються наступною формулою:

$$t_{\text{н}} = \frac{L_{\text{м}.j}}{V_{\text{с}.j}} + t_{\text{д}} = \frac{L_{\text{м}.j}}{V_{\text{т}.j}} + t_{\text{пз.}} + t_{\text{д}} = t_{\text{руху}} + t_{\text{д}}, \text{год.} \qquad (1.34)$$

де: $\frac{L_{\text{м}.j}}{V_{\text{с}.j}}$ – часу руху на маршруті від однієї до іншої кінцевої зупинки, год;

$\frac{L_{\text{м}.j}}{V_{\text{т}.j}}$ – час руху без простою на кінцевих та проміжних зупинках маршруту;

$t_{\text{д}}$ – додаткові витрати часу, пов'язані із затримками руху, посадкою та висадкою пасажирів, хв.

Такий підхід потребує визначення та відстеження багатьох факторів випадкових факторів.

Також пропонується для збільшення надійності виконання розкладу руху збільшувати норми часу виконання рейсу [4].

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Під час розроблення розкладу руху також визначають час оберту транспортного засобу, який включає час руху у прямому та зворотному напрямках, а також час відстою на кінцевих зупиночних пунктах [2, 3].

$$T_{\text{об.}} = t_{\text{п.р.}} + t_{\text{з.р.}} + t_{\text{к.з.1}} + t_{\text{к.з.2}}, \text{год.} \quad (1.35)$$

де: $t_{\text{п.р.}}, t_{\text{з.р.}}$ – час руху в прямому/зворотному напрямку руху маршрутним транспортним засобом від одного кінцевого пункту до іншого, год;

$t_{\text{к.з.1}}, t_{\text{к.з.2}}$ – час простою на кінцевих зупинках, год.

Час оберту є одним із базових параметрів під час визначення потреби в рухомому складі та розрахунку інтервалів руху на маршруті.

Необхідна кількість транспортних засобів для забезпечення заданого інтервалу руху визначається залежно від часу оберту транспортного засобу та має наступну залежність:

$$A = \frac{T_{\text{об.}}}{I}, \text{од.} \quad (1.36)$$

де: A – необхідна кількість автобусів, од.;

$T_{\text{об.}}$ – час оберту транспортного засобу на маршруті, год;

I – інтервал руху транспортного засобу, хв.

Тобто зміна тривалості рейсу безпосередньо впливає на потребу у рухомому складі та на стабільність виконання розкладу руху. Збільшення часу рейсу призводить до необхідності збільшення часу оберту та збільшення кількості транспортних засобів, необхідних для обслуговування маршруту.

Крім експлуатаційних факторів, під час нормування часу рейсу необхідно враховувати вимоги нормативно-правових документів щодо режимів праці та відпочинку водіїв. Організація режимів роботи водіїв повинна відповідати

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

вимогам чинного законодавства та забезпечувати безпечні умови експлуатації транспортних засобів [5, 7, 8].

У зв'язку зі значною нерівномірністю транспортних потоків та змінністю умов руху протягом доби використання єдиної норми часу рейсу для всіх періодів роботи маршруту не забезпечує необхідної стабільності перевізного процесу, особливо в умовах завантаженої вулично-дорожньої мережі м. Львів. Саме тому при організації міських пасажирських перевезень виникає необхідність застосування диференційованих норм часу на виконання рейсів залежно від періоду доби, умов руху транспортних засобів та особливостей функціонування окремих ділянок маршруту.

1.5 Диференційовані норми часу на виконання рейсу

Умови функціонування міського пасажирського транспорту характеризуються значною мінливістю параметрів руху протягом доби, тижня та сезону. Це обумовлено нерівномірністю транспортних і пасажирських потоків, змінами у завантаженні вулично-дорожньої мережі, а також коливаннями інтенсивності затримок на маршруті. У таких умовах застосування єдиної (усередненої) норми часу рейсу не дозволяє забезпечити достатній рівень регулярності та надійності перевезень [1, 10, 20].

Диференційоване нормування часу рейсу передбачає встановлення декількох нормативних значень тривалості виконання рейсу залежно від періоду експлуатації маршруту та умов руху. Такий підхід дозволяє більш точно враховувати реальні коливання швидкісних режимів та пасажирського навантаження, а також забезпечує адаптацію розкладу руху до змін транспортної ситуації [10, 15].

Основною причиною необхідності диференційованого підходу є нерівномірність транспортного процесу, яка проявляється у вигляді пікових навантажень у ранкові та вечірні години, відносно стабільних умов у міжпіковий

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

період, а також суттєвих коливань у вихідні та святкові дні. Зазначені фактори безпосередньо впливають на зміну часу рейсу та відхилення від розрахункових графіків руху [14, 17].

У практиці організації перевезень прийнято виділяти основні періоди диференціації часу рейсу:

- ранковий годинний пік;
- міжпіковий період;
- вечірній годинний пік;
- вихідні дні;
- святкові дні;
- сезонні періоди експлуатації.

Для кожного з цих періодів характерні різні значення швидкості руху транспортних засобів, тривалості затримок на перехрестях та зупиночних пунктах, а також різний рівень пасажирообміну. Це, у свою чергу, зумовлює необхідність встановлення окремих нормативів часу рейсу для кожного режиму роботи маршруту [1, 10].

Диференційовані норми часу рейсу формуються на основі аналізу фактичних умов руху, результатів хронометражних спостережень або даних автоматизованих систем моніторингу руху транспортних засобів (GPS/AVL). У сучасній практиці саме використання телематичних даних дозволяє підвищити точність визначення нормативів та врахувати динамічні зміни транспортної ситуації протягом доби [15].

Загальна логіка застосування диференційованих норм полягає у встановленні декількох значень часу рейсу для одного маршруту, наприклад:

$t_{н}^{(пік)}$ - норма часу рейсу у період відносно стабільного руху;

$t_{н}^{(міжпік)}$ - норма часу рейсу у вечірній період;

$t_{н}^{(вечір)}$ - норма часу рейсу у години максимального навантаження;

$t_{н}^{(вих)}$ - норма часу рейсу у вихідні та святкові дні і т.д.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Такий підхід дозволяє забезпечити більш точне узгодження розкладу руху з фактичними умовами експлуатації маршруту, а також зменшити відхилення фактичного часу рейсу від планового значення.

Важливим елементом диференційованого нормування є врахування варіації часу руху. У дослідженнях організації пасажирських перевезень відзначається, що час проходження маршруту є випадковою величиною, яка змінюється під впливом стохастичних факторів дорожнього руху. У зв'язку з цим у сучасних підходах до планування перевезень використовується не лише середнє значення часу рейсу, але й показники його варіації та стабільності [15, 24].

Зокрема, для оцінки стабільності часу рейсу можуть використовуватися відносні показники відхилення, що характеризують нерівномірність руху протягом досліджуваного періоду. Це дозволяє більш обґрунтовано формувати резерви часу у розкладі руху та підвищувати надійність виконання рейсів.

У контексті сучасного розвитку транспортних систем особливого значення набуває врахування вимог щодо режимів праці та відпочинку водіїв. Впровадження європейських стандартів регулювання робочого часу водіїв та використання інтелектуальних тахографів впливає на організацію графіків руху та обмежує можливості надмірного ущільнення інтервалів [7, 8]. Це додатково підсилює необхідність диференційованого підходу до нормування часу рейсу.

Результати вимірів фіксують у картах хронометражних спостережень. Норма часу на рейс визначається за формулою:

$$t_{\text{р}} = \frac{((3 \cdot t_{min}) - (2 \cdot t_{max}))}{5}, \quad (1.37)$$

де: t_{min}, t_{max} – мінімальні та максимальні фактичні час на рейс за даними хронометражу, хв (годин).

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Результати хронометражних спостережень під час визначення норм часу рейсу та оберту зазвичай округлюють до більшого цілого значення. Якщо тривалість руху у прямому та зворотному напрямках суттєво відрізняється, для кожного напрямку доцільно встановлювати окремі нормативи часу. Такий підхід дозволяє точніше враховувати реальні умови руху на різних ділянках маршруту та підвищити стабільність виконання розкладу [4, 16, 24].

У практиці організації міських перевезень норми часу рейсу та оберту диференціюють залежно від періоду доби, насамперед для годин «пік» і міжпікових періодів. Необхідність такого підходу обумовлена зміною інтенсивності транспортних і пасажирських потоків протягом дня. Основну частину часу рейсу становить безпосередній рух транспортного засобу, на який найбільше впливає завантаження вулично-дорожньої мережі, тоді як значна частка часових втрат формується під час посадки та висадки пасажирів на зупинках. У години максимального навантаження збільшуються затримки на перехрестях, тривалість простоїв на зупинках та нерівномірність руху, що призводить до зростання часу виконання рейсу та оберту [16, 24].

Межі періодів диференціації визначаються на основі аналізу результатів хронометражу або даних GPS-моніторингу руху транспортних засобів. Введення окремого періоду доцільне лише за умови стійкого повторення змін умов руху та стабільного відхилення фактичного часу рейсу. Якщо для суміжних періодів отримані однакові нормативи часу, їх об'єднують в один часовий інтервал. При цьому тривалість окремого періоду повинна бути не меншою за час оберту транспортного засобу на маршруті [16, 24].

У випадках, коли рейс розпочинається в одному часовому періоді, а завершується в іншому, норму часу визначають з урахуванням тривалості руху в кожному з періодів. Це дозволяє забезпечити більш точне узгодження розкладу руху з фактичними умовами експлуатації маршруту та підвищити регулярність перевезень у різні періоди доби [16, 24].

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

1.6 Методи розробки розкладу руху

Розробка розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту є складним багатокритеріальним процесом, який поєднує технічні, організаційні, економічні та соціальні аспекти функціонування транспортної системи. Основною метою складання розкладу є забезпечення регулярного, безпечного та економічно ефективного перевезення пасажирів при дотриманні нормативних вимог щодо режимів праці водіїв, використання рухомого складу та організації дорожнього руху [4].

У сучасній практиці організації пасажирських перевезень застосовується декілька методів розробки розкладів руху, які відрізняються рівнем деталізації, способом обробки вихідної інформації, рівнем автоматизації та точністю врахування змін умов руху протягом доби. До основних методів належать:

- табличний;
- графічний;
- графоаналітичний;
- математичний;
- автоматизований.

Кожен із зазначених методів має власні переваги, недоліки та сферу практичного застосування.

Табличний метод є одним із найпростіших способів складання розкладу руху. Його суть полягає у послідовному визначенні часу відправлення та прибуття транспортних засобів на кінцеві й контрольні пункти маршруту у вигляді таблиці [4].

Вихідними даними для табличного методу виступають:

- час рейсу;
- час оберту;
- інтервал руху;
- кількість транспортних засобів на маршруті;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- час початку та закінчення роботи маршруту;
- режими праці водіїв.

У найпростішому випадку для всього періоду роботи маршруту приймається постійний час рейсу та незмінний інтервал руху. Після визначення часу оберту розраховується необхідна кількість транспортних засобів на маршруті, а потім послідовно формується таблиця часу відправлення кожного випуску.

Перевагами табличного методу є:

- простота застосування;
- наочність;
- можливість швидкого складання розкладу;
- відсутність потреби у складних розрахунках.

Недоліками методу є:

- низька гнучкість;
- складність оперативного коригування;
- недостатнє врахування нерівномірності транспортних потоків;
- неможливість повноцінного аналізу режимів роботи водіїв та рухомого складу.

У сучасних умовах табличний метод використовується переважно для маршрутів із невеликим обсягом перевезень або як допоміжний етап при подальшому графічному чи автоматизованому опрацюванні розкладу.

Графічний метод базується на побудові графіків руху транспортних засобів у системі координат «час -відстань» [4]. При цьому по горизонтальній осі відкладається час доби, а по вертикальній – відстань уздовж маршруту або перелік контрольних пунктів.

Рух кожного транспортного засобу зображається окремою лінією, що дозволяє візуально оцінити:

- регулярність руху;
- інтервали між транспортними засобами;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- періоди простоїв;
- перезмінки водіїв;
- можливі конфлікти або нерівномірності руху.

Графічний метод широко застосовується при організації руху трамваїв, тролейбусів та автобусів, особливо на маршрутах із високою інтенсивністю руху.

Основними перевагами графічного методу є:

- висока наочність;
- можливість аналізу роботи маршруту протягом доби;
- зручність контролю регулярності руху;
- можливість координації кількох маршрутів на спільних ділянках.

До недоліків належать:

- значна трудомісткість при ручному виконанні;
- складність внесення оперативних змін;
- обмеженість при великій кількості транспортних засобів.

У чистому вигляді графічний метод сьогодні застосовується рідше, однак принципи його побудови залишаються основою сучасних диспетчерських та автоматизованих систем планування.

Графоаналітичний метод є розвитком графічного підходу та поєднує графічне представлення руху з аналітичними розрахунками експлуатаційних показників маршруту [4].

Саме цей метод найбільш поширений у практиці планування міських автобусних перевезень, оскільки дозволяє одночасно:

- формувати розклад руху;
- аналізувати режими роботи водіїв;
- визначати час відстою;
- контролювати тривалість змін;
- оцінювати використання рухомого складу.

Основою графоаналітичного методу є побудова стрічкового графіка роботи автобусів, у якому відображаються:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- рейси;
- часи прибуття та відправлення;
- технологічні перерви;
- відстої;
- зміни водіїв;
- нульові рейси.

При використанні графоаналітичного методу особливо важливим є правильне нормування часу рейсу та часу оберту, оскільки саме ці параметри визначають структуру всього розкладу руху.

Перевагами методу є:

- комплексний характер;
- можливість урахування режимів праці водіїв;
- висока наочність;
- можливість оцінки ефективності використання рухомого складу;
- придатність для багатоваріантного аналізу.

Недоліками є:

- висока трудомісткість при ручному складанні;
- складність оперативного коригування при зміні дорожніх умов;
- залежність точності результатів від правильності встановлення нормативів часу рейсу.

У більшості випадків при використанні графоаналітичного методу застосовуються усереднені норми часу рейсу для окремих часових періодів або навіть для всього дня роботи маршруту. Водночас у реальних умовах інтенсивність транспортного потоку та швидкість руху істотно змінюються протягом доби, що призводить до порушення регулярності руху та накопичення відхилень від розкладу.

Розвиток транспортного моделювання сприяв застосуванню математичних методів при розробці розкладів руху. У цьому випадку задача формування

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

розкладу розглядається як оптимізаційна задача з великою кількістю обмежень та критеріїв [15].

При використанні математичних методів можуть враховуватися:

- пасажиропотоки;
- часові коливання попиту;
- режими праці водіїв;
- кількість рухомого складу;
- обмеження вулично-дорожньої мережі;
- витрати перевізника;
- показники регулярності руху.

Для розв'язання таких задач застосовуються:

- методи математичного програмування;
- теорія графів;
- методи оптимізації;
- імітаційне моделювання;
- стохастичні моделі;
- нейромережеві алгоритми.

Математичні методи дозволяють отримувати більш оптимальні варіанти розкладів порівняно з ручними способами побудови, однак потребують значних обсягів вихідної інформації та використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Сучасний етап розвитку транспортних систем характеризується активним впровадженням автоматизованих систем розробки та контролю розкладів руху (автоматизовані методи).

Такі системи базуються на використанні:

- GPS-моніторингу;
- автоматизованих систем диспетчеризації;
- баз даних транспортної роботи;
- алгоритмів прогнозування часу руху;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- геоінформаційних систем.

Автоматизовані методи дозволяють:

- збирати фактичні дані про рух автобусів;
- визначати реальний час рейсу;
- оперативно коригувати розклад;
- прогнозувати затримки;
- аналізувати регулярність руху;
- оцінювати ефективність роботи маршрутів.

Особливо важливим є використання автоматизованих систем для врахування нерівномірності транспортних потоків протягом доби. На основі даних GPS-моніторингу можливо визначати диференційовані норми часу рейсу для різних годин роботи маршруту, що дозволяє підвищити точність розкладу та зменшити відхилення від нього.

Разом із цим навіть сучасні автоматизовані системи часто базуються на використанні статичних або усереднених нормативів часу рейсу, що не повністю відповідає реальним умовам руху в міському середовищі.

Таким чином, аналіз існуючих методів розробки розкладу руху показує, що найбільш поширеним у практиці міських перевезень є графоаналітичний метод, який забезпечує комплексний підхід до організації роботи маршруту та водіїв. Водночас більшість існуючих методів недостатньо враховують зміну дорожніх умов та нерівномірність транспортних потоків протягом доби, що призводить до порушення регулярності руху та зниження точності виконання розкладу. У зв'язку з цим актуальним є удосконалення методики розробки розкладу руху шляхом використання диференційованих норм часу рейсу залежно від часових періодів доби.

Існуючі методи розробки розкладу руху відрізняються рівнем складності, точністю та ступенем врахування умов експлуатації. Найбільш поширеним у практиці міських перевезень є графоаналітичний метод, який дозволяє комплексно враховувати режими роботи рухомого складу та водіїв. Водночас

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

більшість методів базуються на використанні усереднених нормативів часу рейсу та недостатньо враховують часову нерівномірність транспортних потоків, що обумовлює необхідність застосування диференційованих норм часу при розробці розкладів руху.

1.7 Способи представлення розкладу руху

Ефективність використання розкладу руху значною мірою залежить не лише від точності його розробки, але й від форми представлення. Візуалізація повинна забезпечувати зручність сприйняття як для пасажирів, так і для персоналу, що здійснює планування та контроль перевезень.

Таблична форма (основна)

Найбільш поширеним способом представлення розкладу є таблична форма. Вона передбачає подання часу відправлення та прибуття транспортних засобів по кожній зупинці маршруту у вигляді структурованої таблиці.

Переваги:

- простота сприйняття та використання;
- зручність для пасажирів;
- можливість швидкого оновлення та коригування.

Недоліком є обмежена наочність при аналізі нерівномірності руху або взаємодії кількох маршрутів.

Графік руху (діаграма «час – відстань»)

Графічне представлення розкладу здійснюється у координатах «час – відстань (або номер зупинки)». На такому графіку лінії руху окремих транспортних засобів відображаються у вигляді похилих прямих.

Переваги:

- висока наочність;
- можливість аналізу інтервалів руху;
- виявлення конфліктних ситуацій (накладання рейсів, затримки).

Цей метод широко використовується при плануванні та оптимізації руху, але є менш зручним для безпосереднього використання пасажирами.

Стрічковий графік

Стрічковий (лінійний) графік відображає роботу кожного транспортного засобу у вигляді часової шкали. Для кожної одиниці рухомого складу будується окрема «стрічка», на якій показуються:

- часи виконання рейсів;
- простої;
- обіги;
- зміни водіїв.

Переваги:

- зручність для внутрішнього планування роботи транспорту;
- можливість аналізу завантаження рухомого складу;
- контроль режимів праці водіїв.

Таким чином, різні способи візуалізації розкладу використовуються залежно від цільової аудиторії: таблична форма використовується для пасажирів, графіки використовується для інженерно-технічного персоналу, стрічкові графіки використовується для оперативного управління

1.8 Способи автоматизації розробки графіку руху

У сучасних умовах функціонування міського пасажирського транспорту ефективна організація перевезень стає неможливою без використання автоматизованих систем планування, диспетчеризації та контролю руху транспортних засобів. Зростання рівня автомобілізації міст, нерівномірність транспортних потоків, зміна дорожніх умов протягом доби та необхідність забезпечення регулярності руху зумовлюють потребу переходу від традиційних ручних методів складання розкладів до автоматизованих інформаційно-аналітичних систем [4].

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Автоматизація процесу розробки графіків руху дозволяє:

- скоротити трудомісткість планування;
- підвищити точність розрахунків;
- оперативно коригувати розклад;
- враховувати фактичні умови руху;
- контролювати регулярність перевезень;
- прогнозувати затримки руху;
- оптимізувати використання рухомого складу та водіїв.

Основою автоматизованого планування виступає використання електронних баз даних, геоінформаційних систем, GPS-моніторингу, алгоритмів прогнозування та автоматизованих систем диспетчерського управління.

Використання електронних таблиць та баз даних.

Найпростішим рівнем автоматизації є використання електронних таблиць та баз даних для формування маршрутних розкладів. Найбільш поширеним інструментом є табличні процесори типу Microsoft Excel або Google Sheets.

За допомогою електронних таблиць можливо автоматизувати:

- розрахунок часу рейсу та часу оберту;
- визначення необхідної кількості автобусів;
- розрахунок інтервалів руху;
- формування таблиць відправлення;
- побудову стрічкових графіків;
- перевірку режимів праці водіїв.

Основною перевагою такого підходу є:

- доступність;
- простота використання;
- можливість швидкого коригування розрахунків;
- зручність обробки великого обсягу даних.

Разом із цим використання лише електронних таблиць має низку недоліків:

- обмежені можливості автоматичного аналізу;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- залежність від ручного введення інформації;
- складність прогнозування транспортної ситуації;
- відсутність автоматичного зв'язку з фактичними даними руху.

У більшості випадків електронні таблиці використовуються як допоміжний інструмент для графоаналітичного методу розробки розкладу руху.

Автоматизовані системи диспетчеризації.

Наступним етапом розвитку автоматизації стали автоматизовані системи диспетчерського управління рухом міського пасажирського транспорту. Основною функцією таких систем є контроль фактичного руху транспортних засобів у режимі реального часу.

Автоматизовані диспетчерські системи дозволяють:

- контролювати місцеположення автобусів;
- визначати фактичний час проходження контрольних пунктів;
- фіксувати відхилення від розкладу;
- оперативно регулювати інтервали руху;
- формувати статистику транспортної роботи;
- аналізувати регулярність руху.

У сучасних системах диспетчеризації широко застосовується супутниковий GPS/GLONASS-моніторинг. Кожний транспортний засіб обладнується GPS-трекером, який передає інформацію про:

- координати;
- швидкість руху;
- час прибуття;
- тривалість простоїв;
- відхилення від графіка.

На основі отриманих даних диспетчерські системи формують електронний графік фактичного руху автобусів та дозволяють оперативно реагувати на:

- затримки;
- сходження транспортних засобів;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- виникнення заторів;
- порушення регулярності руху.

Особливо важливим є те, що GPS-моніторинг дозволяє накопичувати значні масиви статистичної інформації щодо фактичного часу виконання рейсів у різні періоди доби.

Використання GPS-моніторингу для нормування часу рейсу

Одним із найбільш перспективних напрямків автоматизації є використання GPS-даних для визначення фактичних параметрів руху маршрутного транспорту.

На відміну від традиційних хронометражних обстежень, GPS-моніторинг дозволяє:

- отримувати безперервні дані протягом тривалого часу;
- досліджувати рух у різні дні тижня;
- враховувати сезонні зміни;
- аналізувати швидкість руху на окремих перегонах;
- визначати часову нерівномірність руху.

На основі GPS-даних можливо:

- визначати фактичний час рейсу;
- встановлювати середній час оберту;
- оцінювати варіацію тривалості рейсу;
- формувати диференційовані норми часу для різних годин доби.

Використання GPS-моніторингу дозволяє перейти від статичних нормативів часу рейсу до динамічного нормування, що більш точно відповідає реальним умовам міського руху.

Особливо важливим це є для маршрутів, які проходять через перевантажені ділянки вулично- дорожньої мережі, де тривалість рейсу може суттєво змінюватися залежно від часу доби.

Геоінформаційні системи.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

У сучасних транспортних системах широко використовуються геоінформаційні системи (GIS), які забезпечують просторовий аналіз транспортної мережі.

GIS-технології дозволяють:

- аналізувати структуру маршрутної мережі;
- оцінювати завантаження перегонів;
- визначати проблемні ділянки маршруту;
- аналізувати швидкісні режими руху;
- моделювати транспортні потоки.

Поєднання GIS та GPS-моніторингу дозволяє отримувати детальну інформацію щодо функціонування маршруту в просторі та часі.

На основі геоінформаційних систем можливо:

- будувати карти швидкостей руху;
- визначати ділянки виникнення заторів;
- аналізувати вплив світлофорного регулювання;
- оцінювати часові затримки на окремих перегонах.

Інтелектуальні транспортні системи

Сучасним напрямком розвитку автоматизації є впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS - Intelligent Transport Systems).

Інтелектуальні транспортні системи поєднують:

- GPS-моніторинг;
- автоматизовану диспетчеризацію;
- адаптивне керування рухом;
- прогнозування транспортної ситуації;
- інформаційні системи для пасажирів.

Основною особливістю ITS є можливість автоматичного аналізу поточної транспортної ситуації та формування управлінських рішень у режимі реального часу.

Такі системи дозволяють:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- прогнозувати затримки руху;
- автоматично змінювати інтервали руху;
- коригувати час рейсу;
- забезпечувати пріоритет руху громадського транспорту;
- зменшувати нерівномірність інтервалів руху.

GTFS та цифрові транспортні дані У сучасній практиці організації перевезень все ширше використовуються стандартизовані формати транспортних даних GTFS (General Transit Feed Specification).

GTFS Static містить:

- маршрути;
- зупинки;
- розклад руху;
- графіки рейсів;
- календар роботи маршрутів.

GTFS Realtime дозволяє передавати:

- фактичне місцеположення транспортних засобів;
- прогноз часу прибуття;
- затримки руху;
- оперативні зміни у роботі маршрутів.

Використання GTFS дозволяє інтегрувати розклади руху у:

- навігаційні системи;
- мобільні додатки;
- системи прогнозування;
- диспетчерські центри.

Разом із цим GTFS створює можливість накопичення статистики фактичного руху транспортних засобів, що є важливим джерелом даних для визначення диференційованих норм часу рейсу.

Програмні комплекси автоматизованого планування.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

У великих транспортних системах застосовуються спеціалізовані програмні комплекси автоматизованого планування перевезень, які дозволяють:

- моделювати роботу маршрутної мережі;
- оптимізувати випуск транспортних засобів;
- формувати графіки роботи водіїв;
- оцінювати витрати перевізника;
- аналізувати показники регулярності руху.

Такі системи можуть використовувати алгоритми:

- математичного програмування;
- імітаційного моделювання;
- стохастичного аналізу;
- машинного навчання.

Основною перевагою автоматизованих систем є можливість комплексного врахування великої кількості факторів, які впливають на функціонування маршруту.

Водночас навіть сучасні автоматизовані системи часто використовують усереднені нормативи часу рейсу, що не завжди дозволяє забезпечити високу точність розкладу руху в умовах нерівномірності транспортних потоків.

Таким чином, сучасні способи автоматизації розробки графіків руху створюють широкі можливості для переходу від статичних до динамічних методів планування перевезень. Використання GPS-моніторингу, диспетчерських систем та цифрових транспортних даних дозволяє враховувати зміну дорожніх умов протягом доби та формувати диференційовані норми часу рейсу, що є одним із ключових напрямків удосконалення методики розробки розкладу руху міського пасажирського транспорту.

Сучасні способи автоматизації розробки графіків руху базуються на використанні GPS-моніторингу, автоматизованих диспетчерських систем, геоінформаційних технологій та цифрових транспортних даних. Їх застосування дозволяє підвищити точність планування перевезень, контролювати

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

регулярність руху та враховувати фактичні умови експлуатації маршрутів. Особливо важливим є використання автоматизованих систем для визначення диференційованих норм часу рейсу залежно від часової нерівномірності транспортних потоків протягом доби.

1.9 Висновки по розділу

У першому розділі було проведено аналіз теоретичних та практичних аспектів організації розкладу руху міського пасажирського транспорту, досліджено основні фактори, що впливають на ефективність функціонування маршрутної системи, а також розглянуто сучасні підходи до нормування часу рейсу та автоматизації транспортного планування.

Встановлено, що розклад руху є базовим елементом організації перевізного процесу, який визначає режим роботи маршрутного транспорту, рівень транспортного обслуговування населення, ефективність використання рухомого складу та умови праці водіїв. Розклад руху виконує одночасно технологічну, організаційну, економічну та інформаційну функції, забезпечуючи координацію роботи всіх учасників перевізного процесу.

У роботі було розглянуто основні види розкладів руху, серед яких маршрутний розклад визначено як базовий документ організації перевезень, на основі якого формуються водійські, диспетчерські та інформаційні розклади. Встановлено, що процес розробки розкладу має багатокритеріальний характер та потребує одночасного врахування:

- транспортного попиту;
- режимів праці водіїв;
- параметрів руху;
- ресурсних можливостей перевізника;
- умов функціонування вулично-дорожньої мережі.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Проведений аналіз експлуатаційних швидкостей показав, що швидкість руху є одним із ключових факторів, які визначають тривалість рейсу, час оберту та потребу у рухомому складі. Встановлено взаємозв'язок між швидкістю руху, інтенсивністю транспортного потоку та щільністю руху, а також визначено вплив часової нерівномірності транспортних потоків на параметри функціонування маршрутного транспорту.

У результаті аналізу теорії транспортних потоків встановлено, що зміна інтенсивності руху протягом доби призводить до зміни швидкості сполучення та тривалості виконання рейсу. Найбільший вплив на роботу маршрутного транспорту здійснюють пікові періоди доби, під час яких виникає зниження швидкості руху, збільшення часу оберту та порушення регулярності руху автобусів.

Дослідження режимів праці та відпочинку водіїв показало, що при розробці розкладу руху необхідно обов'язково враховувати нормативні обмеження щодо:

- тривалості робочої зміни;
- безперервного часу керування;
- тривалості перерв;
- міжзмінного відпочинку.

Встановлено, що вимоги трудового законодавства безпосередньо впливають на структуру графіка руху, тривалість змін водіїв та організацію відстоїв на маршруті.

У роботі було проаналізовано основні методи розробки розкладів руху, серед яких найбільш поширеним визначено графоаналітичний метод. Встановлено, що його основною перевагою є можливість комплексного врахування режимів роботи рухомого складу та водіїв. Разом із цим більшість існуючих методів використовують усереднені норми часу рейсу та недостатньо враховують часову нерівномірність транспортних потоків.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Проведений аналіз сучасних способів автоматизації показав, що використання GPS-моніторингу, автоматизованих диспетчерських систем, геоінформаційних технологій та цифрових транспортних даних створює можливість переходу від статичних до динамічних методів планування перевезень.

Використання фактичних даних руху дозволяє визначати реальний час виконання рейсів у різні часові періоди доби та формувати диференційовані норми часу оберту.

Таким чином, аналіз наукової літератури та практики організації перевезень показав, що існуючі підходи до розробки розкладу руху недостатньо враховують зміну умов руху протягом доби. Використання усереднених нормативів часу рейсу призводить до виникнення відхилень від графіка, порушення регулярності руху та зниження ефективності роботи маршруту.

У зв'язку з цим актуальним є удосконалення методики розробки розкладу руху маршрутного пасажирського транспорту шляхом використання диференційованих норм часу рейсу, визначених на основі фактичних параметрів руху в різні часові періоди доби. Це обумовлює необхідність проведення експериментальних досліджень параметрів руху автобусів та формування методики побудови розкладу руху з урахуванням часової нерівномірності транспортних потоків, що буде розглянуто у другому розділі роботи.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

РОЗДІЛ 2
ФОРМУВАННЯ МЕТОДИКИ РОЗРОБКИ РОЗКЛАДУ РУХУ МАРШРУТНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ НОРМ ЧАСУ РЕЙСУ

2.1 Методика обстеження параметрів руху маршрутного пасажирського транспорту

Під час розробки диференційованих норм часу рейсу та оберту маршрутного пасажиреського транспорту важливе значення має отримання фактичних параметрів роботи маршруту в реальних умовах експлуатації. На відміну від нормативних або розрахункових значень, фактичні показники дозволяють врахувати вплив транспортних заторів, нерівномірності руху, простоїв на зупинках, особливостей дорожньої мережі та організації руху в різні періоди доби.

Метою проведеного дослідження є визначення фактичної тривалості рейсу, часу оберту автобусів, нерівномірності руху та особливостей роботи автобусного маршруту №29 у місті Львів для подальшого формування диференційованих норм часу оберту залежно від періоду доби.

Фактична тривалість рейсу була визначена двома основними способами, а саме:

1. Було проведено детальне хронометражне обстеження руху автобусів маршруту №29 у прямому та зворотному напрямках. Під час дослідження фіксував: час відправлення та прибуття автобусів на кінцеві та проміжні зупинки; тривалість рейсу; час проходження окремих перегонів; час простою на зупинках та особливості нерівномірності руху. Дослідження проводилися 7 та 11 травня 2026 року у різні періоди доби. Дослідження було проведено для 15 рейсів в 5 основні періоди доби.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

За результатами обстеження було отримано значення фактичної тривалості рейсу в обох напрямках руху. У прямому напрямку тривалість рейсу становила від 0,74 до 1,49 год., а у зворотному напрямку становила від 0,64 до 0,96 год. Значна різниця між окремими рейсами свідчить про суттєву нерівномірність умов руху на маршруті залежно від часу доби, транспортного навантаження та дорожньої ситуації.

Отримані результати наведені у документі «Інтенсивність_Автобус_29», у якому містяться детальні дані щодо виконання рейсів автобусами маршруту.

2. Далі дослідження відбулось з використанням даних GPS-моніторингу руху автобусів. 18.05.2026 р. із сайту:

Eway Львів - автобусний маршрут №29 [31].

Було зібрано дані щодо фактичного розташування автобусів на маршруті протягом усього робочого дня. На основі отриманої інформації було сформовано документ «29 автобус (зібрані дані моніторингу GPS-трекінгу за цілий день)».

Використання GPS-моніторингу дозволило визначити:

- фактичний час знаходження автобусів на маршруті;
- тривалість простоїв на кінцевих зупинках;
- час прибуття та відправлення;
- кількість виконаних обертів;
- нерівномірність руху протягом дня;
- випадки сходу автобусів з маршруту;
- відхилення від графіка руху;
- приблизний фактичний час оберту.

Для збору та аналізу транспортних даних використовувались відкриті системи транспортного моніторингу та стандарти обміну транспортною інформацією. Значна частина інформації про роботу маршрутів базується на форматі General Transit Feed Specification (GTFS), який є міжнародним стандартом представлення транспортних даних [32].

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

GTFS – це формат обміну даними громадського транспорту, що використовується для передачі інформації про маршрути, зупинки, розклади руху, геометрію маршрутів та інші параметри роботи транспортної системи [32, 33].

GTFS складається з двох основних компонентів:

1. GTFS Static - інформація про перевізників, зупинки, маршрути, графік руху, вартість проїзду 1 т.д.;

2. GTFS Realtime - інформація про прогнози прибуття, місцезнаходження транспорту та сервісні сповіщення [32, 33].

Будь-який GTFS-фід базується на стандарті GTFS Reference. Технічно це набір табличних даних у форматі CSV, які зберігаються у файлах із розширенням .txt . Зазвичай найпростіший робочий фід складається із семи базових файлів, запакованих у .zip -архів і розміщених за постійним публічним URL-посиланням [33].

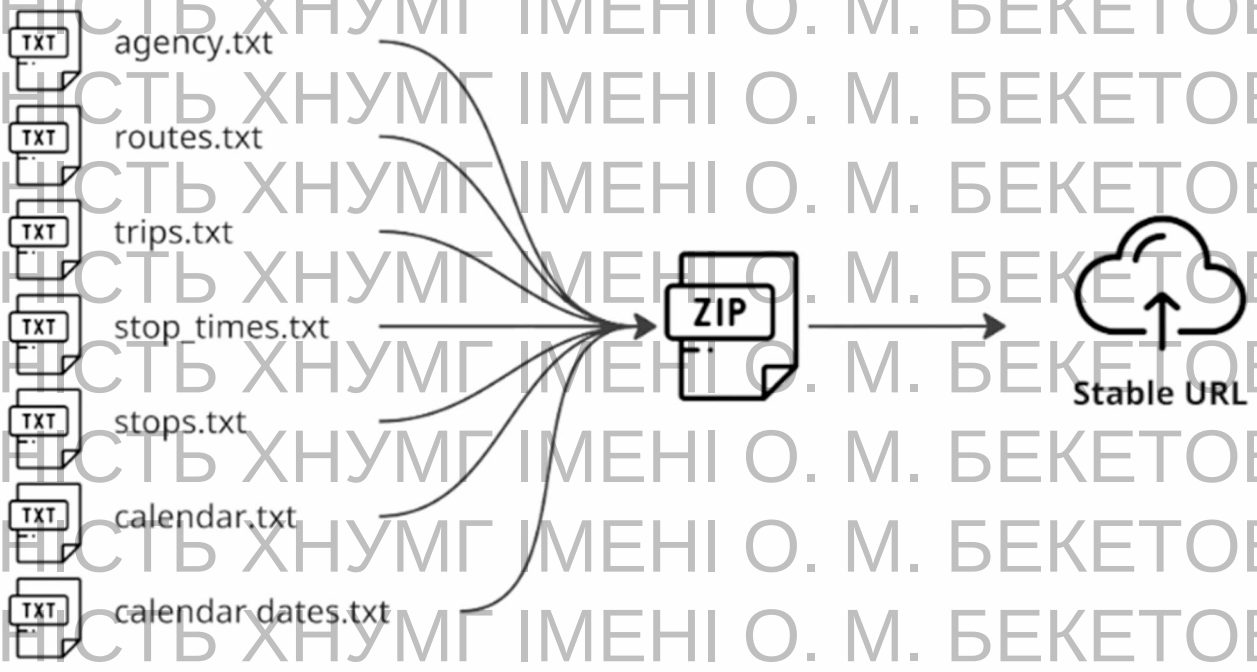


Рисунок 2.1 - Набір табличних даних про параметри маршруту

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Кожен такий файл має структуру таблиці, де рядки - це окремі записи, а стовпці - поля з атрибутами. Наприклад, у файлі routes.txt один рядок відповідає одному маршруту, а його поля містять назву, опис, перевізника тощо.

stops.txt

```
stop_id,stop_code,stop_name,stop_desc,stop_lat,stop_lon,stop_url,location_type,wheelchair_boarding,platform_code,parent_station,level_id,zone_id
34,34,Chicago Ave S & 8th St S,Farside S,44.971095,-93.262426,https://www.metrotransit.org/nextrip/34,0,1,,,,
37,37,Chicago Ave S & 15th St E,Nearside S,44.968187,-93.262634,https://www.metrotransit.org/nextrip/37,0,1,,,,
39,39,Chicago Ave S & 17th St E,Nearside S,44.966423,-93.262641,https://www.metrotransit.org/nextrip/39,0,1,,,,
40,40,Chicago Ave S & 18th St E,Farside S,44.964945,-93.262638,https://www.metrotransit.org/nextrip/40,0,1,,,,
43,43,Chicago Ave S & 22nd St E,Nearside S,44.961029,-93.262650,https://www.metrotransit.org/nextrip/43,0,1,,,,
45,45,Chicago Ave S & 25th St E,Nearside S,44.957476,-93.262668,https://www.metrotransit.org/nextrip/45,0,1,,,,
47,47,Chicago Ave S & 27th St E,Nearside S,44.953840,-93.262698,https://www.metrotransit.org/nextrip/47,0,1,,,,
48,48,Chicago Ave S & 28th St E,Nearside S,44.952097,-93.262734,https://www.metrotransit.org/nextrip/48,0,1,,,,
50,50,Chicago Ave S & 31st St E,Nearside S,44.946818,-93.262765,https://www.metrotransit.org/nextrip/50,0,1,,,,
51,51,Chicago Ave S & 32nd St E,Nearside S,44.944832,-93.262729,https://www.metrotransit.org/nextrip/51,0,1,,,,
52,52,Chicago Ave S & 33rd St E,Nearside S,44.943277,-93.262722,https://www.metrotransit.org/nextrip/52,0,1,,,,
54,54,Chicago Ave S & 35th St E,Nearside S,44.939680,-93.262673,https://www.metrotransit.org/nextrip/54,0,1,,,,
62,62,Chicago Ave S & 43rd St E,Nearside S,44.925239,-93.262616,https://www.metrotransit.org/nextrip/62,0,1,,,,
63,63,Chicago Ave S & 44th St E,Nearside S,44.923472,-93.262655,https://www.metrotransit.org/nextrip/63,0,1,,,,
64,64,Chicago Ave S & 45th St E,Nearside S,44.921701,-93.262674,https://www.metrotransit.org/nextrip/64,0,1,,,,
66,66,Chicago Ave S & 47th St E,Nearside S,44.918028,-93.262705,https://www.metrotransit.org/nextrip/66,0,1,,,,
68,68,Chicago Ave S & 49th St E,Nearside S,44.914394,-93.262740,https://www.metrotransit.org/nextrip/68,0,1,,,,
69,69,Chicago Ave S & 50th St E,Nearside S,44.912608,-93.262769,https://www.metrotransit.org/nextrip/69,0,1,,,,
70,70,Chicago Ave S & 51st St E,Farside S,44.910563,-93.262745,https://www.metrotransit.org/nextrip/70,0,1,,,,
72,72,Chicago Ave S & 53rd St E,Nearside S,44.907204,-93.262745,https://www.metrotransit.org/nextrip/72,0,1,,,,
73,73,Chicago Ave S & 54th St E,Nearside S,44.905355,-93.262742,https://www.metrotransit.org/nextrip/73,0,1,,,,
74,74,Chicago Ave S & 55th St E,Nearside S,44.903506,-93.262761,https://www.metrotransit.org/nextrip/74,0,1,,,,
76,76,Chicago Ave S & 57th St E,Nearside S,44.898979,-93.262878,https://www.metrotransit.org/nextrip/76,0,1,,,,
77,77,Chicago Ave S & 58th St E,Nearside S,44.898017,-93.262866,https://www.metrotransit.org/nextrip/77,0,1,,,,
78,78,Chicago Ave S & 59th St E,Nearside S,44.896205,-93.262905,https://www.metrotransit.org/nextrip/78,0,1,,,,
79,79,Chicago Ave S & 60th St E,Nearside S,44.894442,-93.262952,https://www.metrotransit.org/nextrip/79,0,1,,,,
83,83,Bryant Ave S & 36th St W,Farside S,44.937424,-93.290894,https://www.metrotransit.org/nextrip/83,0,1,,,,
84,84,Bryant Ave S & 37th St W,Nearside S,44.935992,-93.290851,https://www.metrotransit.org/nextrip/84,0,1,,,,
85,85,Bryant Ave S & 38th St W,Farside S,44.933870,-93.290865,https://www.metrotransit.org/nextrip/85,0,1,,,,
```

Рисунок 2.2 – Внутрішня структура файлів

Усі файли в наборі даних пов'язані між собою за допомогою перехресних посилань (спільних ідентифікаторів). Структуру базового розкладу можна описати так [33]:

- agency. txt: інформація про транспортні компанії (одна або декілька), що працюють у системі.
- routes.txt: перелік самих маршрутів.
- trips.txt: конкретні рейси, що закріплені за цими маршрутами.
- stops.txt: зупинки, через які проходять рейси.
- stop_times.txt: розклад руху - час прибуття та відправлення рейсів для кожної зупинки (вказується лише час доби).
- calendar.txt та calendar_dates.txt: календар, який визначає, у які саме дні тижня чи дати курсує конкретний рейс.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Рисунок 2.3 – Зв’язок даних між собою за допомогою перехресних посилань (спільних ідентифікаторів)

Щоб розширити функціонал базового фіду або задовольнити специфічні потреби транспортних компаній, можна використовувати додаткові файли. Наприклад [33]:

shapes. txt: дозволяє точно відмалювати геометрію маршруту на карті.

pathways. txt: містить схеми переходів, щоб допомогти пасажирам орієнтуватися всередині складних станцій чи терміналів.

frequencies.txt: використовується для маршрутів з інтервальним рухом (вказує частоту курсування замість точного часу кожної зупинки).

Також під час дослідження враховувалися принципи стандарту SIRI (Service Interface for Real-time Information), який використовується для передачі інформації про рух транспорту в режимі реального часу [34].

Для формування та аналізу транспортних даних можуть використовуватись спеціалізовані інструменти, зокрема National RTAP GTFS Builder, призначений для створення та редагування GTFS-наборів даних.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

2.2 Характеристики маршруту

Об'єктом дослідження є міський автобусний маршрут №29 у місті Львів, який забезпечує транспортне сполучення між районом Винники, Лисиничами, центральною частиною міста та Залізничним вокзалом. Маршрут належить до міських автобусних маршрутів загального користування та виконує важливу функцію перевезення пасажирів між периферійними житловими районами, центральною частиною міста та великим транспортним вузлом.

Досліджуваний автобусний маршрут №29 має маятниковий характер організації руху та з'єднує периферійні райони Винники й Лисиничі із центральною частиною Львова та Залізничним вокзалом. Його траса пролягає через значну кількість магістральних вулиць із високою інтенсивністю транспортних потоків. Проходження безпосередньо через центр міста піддає маршрут найбільшому впливу заторів та світлофорного регулювання, що створює серйозну нерівномірність транспортних умов протягом дня, яка особливо загострюється у години пік. Цей негативний вплив дорожніх факторів безпосередньо позначається на якості перевезень: головною особливістю функціонування маршруту стає значна нерівномірність виконання рейсів та нестабільність дотримання розкладу руху [36].

Як показало дослідження, ситуація ускладнюється довільним характером відправлень автобусів із кінцевих зупинок, суттєвими відхиленнями від графіка та збільшеними простоями, що у підсумку призводить до коливання інтервалів та «злипання» транспортних засобів на лінії.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Рисунок 2.4 – Приклад зпипання автобусів на маршруті

Подібна ситуація відповідає принципам, наведеним у роботах Пола Райюса (Paul Ryus) [24], де зазначається, що фактичні **норми часу** часто формуються в умовах реальної експлуатації маршруту, коли водії здійснюють рух з урахуванням дорожньої ситуації, накопичення відставання від графіка, пасажиропотоку та власної зручності виконання рейсу.

Загальна довжина маршруту становить:

- у прямому напрямку - 13,71 км;
- у зворотному напрямку - 13,36 км.

(Основна довжина маршруту з маневрами на кінцевих зупинках складає 27,7 км.)

Кінцевими зупинками маршруту є:

- «Винники, Винниченка»;
- «Залізничний вокзал (29)».

Під час дослідження було визначено довжини перегонів між окремими зупинками маршруту. Найбільші перегони спостерігаються на ділянках:

- «Бігова» - «вул. Богданівська»;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- «вул. Богдана Котика» - «Автостанція №6»;
- «Глинянський Тракт» - «Бігова».

Найменші перегони характерні для центральної частини міста, де спостерігається висока щільність зупинок та значний вплив світлофорного регулювання.

Було проведено дослідження рухомого складу маршруту. На маршруті працюють автобуси моделей МАЗ-203.069 та Електрон А18501 із середньою пасажиромісткістю 99-102 пасажири. Для кожного автобуса було визначено державний номер, тип рухомого складу та параметри місткості.

Таблиця 2.1 – Характеристики рухомого складу маршруту №29

Модель автобусу	Середня пасажиромімсткість	Мінімальна пасажиромісткість	Максимальна пасажиромісткість
МАЗ-203.069	99	93	105
Електрон А18501	102	102	102

Повну таблицю з державними номерами автобусів, назвою всіх зупинних пунктів та відстанню перегонів наведено в Додатку Б.

На основі аналізу маршруту було встановлено, що найбільший вплив на тривалість рейсу мають:

- центральна частина міста;
- транспортні затори;
- нерівномірність посадки та висадки пасажирів;
- затримки на світлофорних об'єктах;
- значні простої автобусів на кінцевих зупинках.

Особливістю маршруту є також нестабільність виконання графіка руху. У процесі GPS-моніторингу було виявлено випадки:

- збільшених простоїв;
- нерівномірного відправлення автобусів;
- сходу автобусів з маршруту;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- неповного виконання обертів;
- значного коливання часу рейсу залежно від періоду доби.

Обробка отриманих даних здійснювалася шляхом систематизації інформації у середовищі Microsoft Excel. Дані GPS-моніторингу копіювалися з інтервалом приблизно 2-15 хвилин (з перебоями на повітряну тривогу), після чого вручну формувалася таблиця розташування автобусів на маршруті в конкретні моменти часу.

У результаті обробки було сформовано таблиці фактичного часу оберту автобусів протягом робочого дня, що дало можливість встановити зміну параметрів роботи маршруту залежно від періоду доби та транспортного навантаження.

Проведене дослідження дозволило отримати значний обсяг фактичних експлуатаційних даних щодо роботи автобусного маршруту №29 та сформувати основу для подальшого визначення диференційованих норм часу оберту й розробки адаптивного розкладу руху.

Маршрут №29 у Львові обслуговує ЛК "АТП №1" [40].

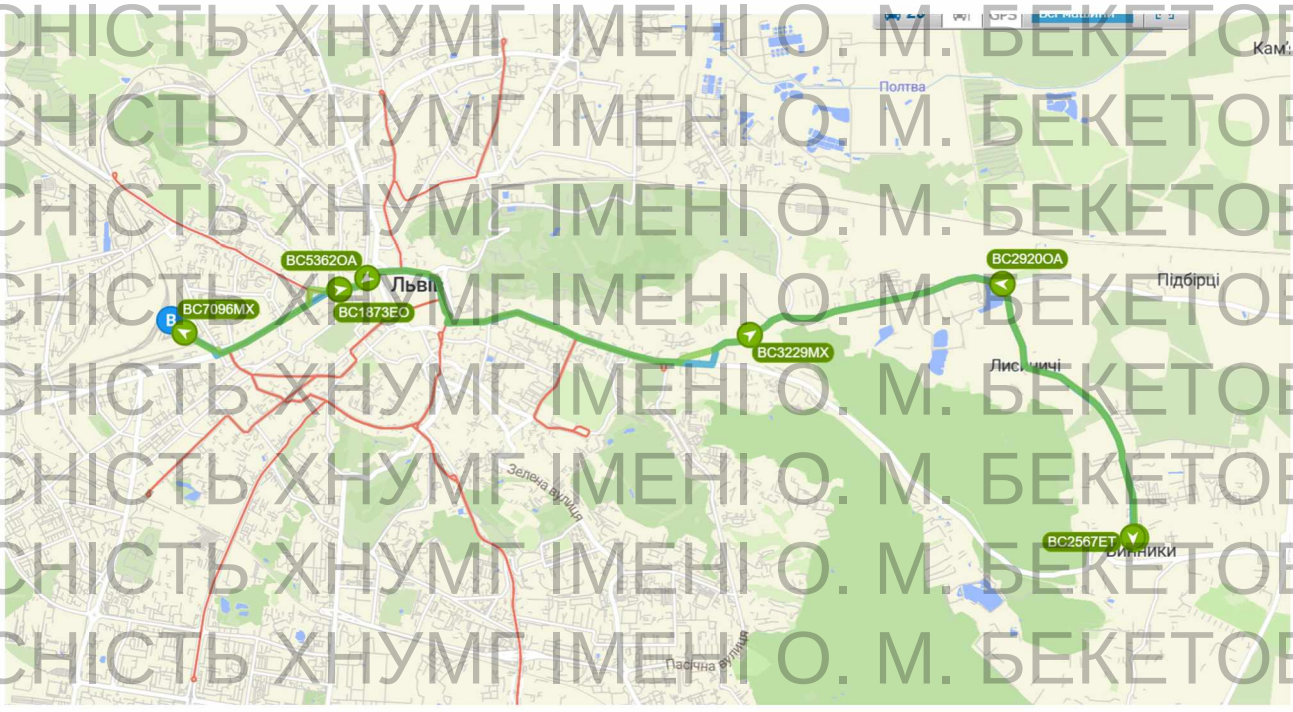


Рисунок 2.5 – Маршрут №29

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

2.3 Проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження роботи автобусного маршруту №29 проводилися з метою визначення фактичних параметрів руху автобусів у реальних умовах експлуатації. Основним завданням дослідження було отримання фактичних значень часу рейсу, часу оберту, тривалості простоїв, нерівномірності руху та особливостей роботи маршруту в різні періоди доби.

Дослідження проводилися для автобусного маршруту №29 у місті Львів у будні дні, оскільки саме в цей період спостерігається найбільше транспортне навантаження та найхарактерніша нерівномірність руху міського пасажирського транспорту.

Фактичний час рейсу на маршруті змінюється у широких межах. За результатами проведених досліджень встановлено, що:

- у міжпіковий період тривалість рейсу може становити 40-50 хв;
- у години пік тривалість рейсу збільшується до 80-90 хв.

Таке коливання тривалості руху свідчить про необхідність використання диференційованих норм часу рейсу та оберту під час розробки розкладу руху.

Основними датами проведення дослідження стали:

- 07.05.2026;
- 11.05.2026;
- 18.05.2026.

Дослідження виконувались у прямому та зворотному напрямках руху маршруту. Основна увага приділялася:

- фактичній тривалості рейсу;
- часу оберту;
- тривалості простоїв;
- регулярності руху;
- нерівномірності інтервалів;
- особливостям роботи автобусів на кінцевих зупинках.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.2.1 – Прямий напрямок хронометражне дослідження маршруту №29 Львів (Перша частина)

Автостанція №6	в.	6:21:24	6:36:05	8:19:35	15:55:3	17:06:4	18:05:1	21:22:2
	п.	6:20:45	6:35:20	Тривог	15:55:1	17:03:1	18:03:3	21:21:4
вул. Дубова	в.	6:19:24	6:34:25	Тривог	15:54:0	17:01:2	18:01:2	21:20:4
	п.	6:18:50	6:34:05	Тривог	15:53:3	17:00:5	18:01:0	21:20:3
вул. Богданівська	в.	6:18:05	6:32:45	Тривог	15:52:1	16:59:5	18:00:2	21:19:2
	п.	6:17:20	6:32:15	Тривог	15:52:0	16:59:2	18:00:0	21:18:5
Бігова	в.	6:15:05	6:29:25	Тривог	15:50:2	16:56:0	17:57:2	21:16:2
	п.	6:14:48	6:29:05	Тривог	15:49:5	16:55:1	17:56:5	21:15:4
Глинянський Тракт	в.	6:13:30	6:28:25	7:54:45	15:49:3	16:54:4	17:56:2	21:15:0
	п.	6:12:33	6:27:10	7:53:55	15:48:2	16:52:3	17:55:5	21:14:3
Лисиничі, Ковальця	в.	6:12:05	6:26:44	7:50:00	15:47:4	16:51:4	17:55:0	21:13:0
	п.	6:11:13	6:26:00	7:49:15	15:47:0	16:51:4	17:55:0	21:12:4
Лисиничі, Квіткова	в.	6:10:04	6:25:20	7:48:30	15:45:5	16:50:4	17:54:0	21:11:2
	п.	6:09:35	6:24:57	7:46:25	15:45:4	16:49:4	17:53:0	21:10:3
Лисиничі, Івасюка	в.	6:08:44	6:24:26	7:45:05	15:45:1	16:49:0	17:52:1	21:10:0
	п.	6:08:39	6:24:22	7:45:05	15:45:1	16:49:0	17:52:0	21:09:5
Лисиничі, Львівська	в.	6:08:20	6:24:05	7:44:45	15:44:4	16:48:4	17:51:4	21:09:2
	п.	6:08:06	6:23:14	7:59:35	15:43:5	16:48:3	17:51:1	21:08:5
Лисиничі, Центр	в.	6:07:40	6:22:45	7:43:45	15:43:2	16:48:0	17:50:4	21:08:0
	п.	6:07:06	6:22:05	7:43:00	15:42:3	16:46:5	17:50:1	21:07:5
Лисиничі, Героїв Крут	в.	6:06:00	6:21:25	7:41:55	15:42:1	16:45:5	17:49:5	21:07:2
	п.	6:05:40	6:21:10	7:41:40	15:41:3	16:45:5	17:49:5	21:07:2
Лисиничі, Полуботка	в.	6:05:23	6:20:45	7:41:10	15:41:0	16:45:2	17:49:2	21:06:2
	п.	6:04:34	6:20:24	7:41:00	15:41:0	16:44:5	17:48:5	21:05:5
Винники, Госпіталь	в.	6:02:23	6:18:10	7:39:00	15:38:5	16:42:2	17:47:0	21:03:3
	п.	6:02:05	6:18:10	7:38:30	15:38:5	16:42:0	17:47:0	21:03:0
Винники, Винна Гора	в.	6:01:25	6:17:44	7:37:45	15:38:2	16:41:0	17:46:3	21:02:4
	п.	6:01:05	6:16:54	7:36:40	15:38:2	16:40:4	17:46:0	21:02:0
Винники, Винниченка	в.	6:00:30	6:16:00	7:36:00	15:37:0	16:40:0	17:44:4	21:00:2
	п.							
Дата проведенн		11.05.2026	11.05.2026	11.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026
Автобус номер		ВС6213ОА	ВС4360МХ	ВС6116ЕТ	ВС3229МХ	ВС6213ОА	ВС6430ОІ	ВС6116ЕТ

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.2.2 – Прямий напрямок хронометражне дослідження маршруту №29 Львів (Друга частина)

Залізничний вокзал (29)	в.				16:49:0	17:52:0		
	п.	6:44:44	7:02:25	9:05:25	16:34:3	17:41:4	18:47:4	21:49:4
Приміський вокзал	в.	6:43:40	7:01:25	9:04:45	16:32:5	17:40:4	18:46:4	21:48:4
	п.	6:42:45	7:00:35	9:03:50	16:32:3	17:40:2	18:45:4	21:47:0
пл. Кропивницького	в.	6:42:05	6:59:10	8:59:05	16:29:5	17:38:4	18:43:3	21:45:4
	п.	6:41:25	6:58:00	8:58:20	16:29:0	17:38:3	18:42:2	21:44:5
Цирк	в.	6:40:40	6:57:25	8:57:05	16:27:5	17:37:1	18:41:0	21:44:0
	п.	6:38:40	6:56:15	8:56:00	16:26:2	17:35:1	18:39:3	21:43:5
Захисникі в України	в.	6:38:05	6:55:20	8:55:05	16:25:1	17:34:0	18:36:1	21:42:5
	п.	6:37:28	6:54:43	8:52:54	16:22:4	17:33:1	18:35:3	21:42:3
Церква святої Анни	в.	6:37:10	6:54:25	8:52:05	16:22:1	17:32:2	18:35:1	21:42:0
	п.	6:36:53	6:53:13	8:51:05	16:19:3	17:31:0	18:34:1	21:41:3
ТЦ "Магнус"	в.	6:35:45	6:52:25	8:49:40	16:18:2	17:29:3	18:32:3	21:40:0
	п.	6:34:55	6:51:40	8:49:10	16:16:1	17:28:2	18:29:5	21:38:2
вул. Театральна	в.	6:34:05	6:50:20	8:48:35	16:15:4	17:26:4	18:28:2	21:38:0
	п.	6:33:29	6:49:23	8:47:58	16:15:0	17:25:2	18:26:3	21:36:3
вул. Підвальна	в.	6:32:45	6:48:10	8:46:10	16:10:0	17:20:0	18:19:2	21:34:4
	п.	6:32:20	6:46:55	8:45:20	16:08:5	17:19:3	18:19:1	21:33:2
пл. Митна	в.	6:31:40	6:45:25	8:43:40	16:07:0	17:18:4	18:16:2	21:32:0
	п.	6:30:50	6:44:55	8:38:40	16:06:1	17:17:3	18:15:4	21:31:1
Військовий госпіталь	в.	6:30:20	6:44:00	8:36:25	16:05:4	17:17:0	18:15:0	21:30:2
	п.	6:29:45	6:43:45	8:34:15	16:05:0	17:16:0	18:14:1	21:29:4
Медичний університет	в.	6:28:45	6:42:15	8:33:05	16:04:2	17:15:1	18:13:2	21:29:0
	п.	6:27:50	6:41:52	8:32:10	16:02:2	17:13:4	18:12:0	21:28:1
вул. Мечникова	в.	6:26:45	6:41:05	8:31:10	16:01:2	17:12:2	18:10:0	21:27:1
	п.	6:25:19	6:39:50	8:30:20	16:00:3	17:11:4	18:09:1	21:26:1
вул. Богдана Котика	в.	6:24:44	6:39:05	8:29:45	16:00:1	17:11:1	18:08:4	21:25:4
	п.	6:24:00	6:38:50	8:28:05	15:59:0	17:10:5	18:08:1	21:25:1
вул. Пасічна	в.	6:23:25	6:38:05	8:26:45	15:58:2	17:09:2	18:06:3	21:24:2
	п.	6:21:42	6:36:30	8:25:25	15:56:3	17:08:2	18:06:3	21:24:2
Дата проведенн		11.05.2026	11.05.2026	11.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026
Автобус номер		ВС6213ОА	ВС4360МХ	ВС6116ЕТ	ВС3229МХ	ВС6213ОА	ВС6430ОІ	ВС6116ЕТ

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.3.1 – Зворотний напрямок хронометражне дослідження маршруту №29 Львів (Перша частина)

Автостанція №6	в.	6:59:20	7:53:45	16:18:25	17:27:05	18:26:40	21:11:20	
	п.	6:58:15	7:53:45	16:17:15	17:26:30	18:24:00	21:09:35	
вул. Богдана Котика	в.	6:57:25	7:51:45	16:14:45	17:23:15	18:21:45	21:08:05	
	п.	6:56:10	7:50:20	16:12:50	17:21:50	18:20:00	21:07:55	
вул. Мечникова	в.	6:55:25	7:48:50	16:10:25	17:19:00	18:16:30	21:06:25	
	п.	6:54:58	7:48:00	16:09:30	17:16:15	18:15:45	21:06:10	
Медичний університет	в.	6:54:25	7:47:15	16:08:10	17:15:45	18:14:45	21:05:25	
	п.	6:53:05	7:45:45	16:06:00	17:13:35	18:13:20	21:04:50	
Військовий госпіталь	в.	6:52:25	7:44:45	16:05:05	17:13:10	18:12:45	21:03:45	
	п.	6:51:50	7:44:05	16:04:34	17:11:35	18:12:05	21:03:35	
пл. Митна	в.	6:51:05	7:43:25	16:03:45	17:11:00	18:11:25	21:03:05	
	п.	6:50:25	7:41:45	16:02:40	17:08:15	18:10:45	21:01:35	
вул. Підвальна	в.	6:49:30	7:41:10	16:01:40	17:07:25	18:08:20	21:01:05	
	п.	6:48:25	7:40:14	16:01:05	17:06:34	18:07:35	21:00:20	
Театр ляльок	в.	6:47:10	7:39:45	16:00:25	17:06:05	18:06:50	20:59:45	
	п.	6:46:44	7:38:58	15:59:35	17:04:45	18:05:55	20:58:55	
вул. Северина Наливайка	в.	6:45:20	7:37:25	15:56:10	17:03:15	18:03:35	20:57:40	
	п.	6:45:00	7:36:30	15:54:10	17:01:00	18:00:55	20:57:15	
Церква святої Анни	в.	6:44:15	7:34:25	15:52:40	16:58:05	17:59:45	20:56:40	
	п.	6:44:00	7:34:15	15:50:45	16:57:20	17:58:35	20:55:45	
Цирк	в.	6:43:00	7:32:25	15:50:05	16:56:45	17:57:45	20:54:40	
	п.	6:41:45	7:31:25	15:49:25	16:55:30	17:57:10	20:53:15	
пл. Кропивницького	в.	6:41:05	7:30:45	15:47:45	16:53:10	17:55:25	20:52:25	
	п.	6:39:45	7:30:25	15:46:40	16:50:55	17:53:45	20:50:50	
Приміський вокзал	в.	6:39:15	7:29:10	15:45:45	16:50:05	17:53:05	20:50:25	
	п.	6:37:05	7:29:00	15:44:40	16:49:35	17:52:35	20:50:15	
Залізничний вокзал (29)	в.	6:36:30	7:28:25	15:43:55	16:49:00	17:52:00	20:50:00	
	п.		7:02:25		16:34:35	17:41:40		
Дата проведення		11.05.2026	11.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	
Автобус номер		ВС2920ОА	ВС4360МХ	ВС4360МХ	ВС3229МХ	ВС6213ОА	ВС7096МХ	

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.3.2 – Зворотний напрямок хронометражне дослідження маршруту №29 Львів (Друга частина)

Винники, Винниченка	В.						
	П.	7:18:10	8:25:00	16:38:44	17:46:20	18:47:40	21:28:15
Винники, Винна Гора	В.	7:17:05	8:19:05	16:38:25	17:45:30	18:47:05	21:27:25
	П.	7:17:05	8:19:05	16:37:45	17:44:50	18:46:00	21:27:10
Винники, Госпіталь	В.	7:16:05	8:18:05	16:36:45	17:44:15	18:45:25	21:26:05
	П.	7:15:54	8:17:30	16:36:20	17:43:59	18:44:58	21:25:25
Лисиничі, Полуботка	В.	7:14:14	Тривога.	16:34:45	17:43:10	18:43:25	21:24:30
	П.	7:14:14	Тривога.	16:34:29	17:42:45	18:42:58	21:24:30
Лисиничі, Героїв Крут	В.	7:13:15	Тривога.	16:33:45	17:42:10	18:42:25	21:24:05
	П.	7:13:00	Тривога.	16:32:55	17:41:25	18:41:39	21:23:30
Лисиничі, Центр	В.	7:12:20	Тривога.	16:32:30	17:40:45	18:41:10	21:23:05
	П.	7:12:05	Тривога.	16:31:40	17:40:30	18:40:30	21:22:30
Лисиничі, Львівська	В.	7:11:45	Тривога.	16:31:09	17:40:00	18:40:05	21:22:05
	П.	7:11:15	Тривога.	16:30:44	17:39:50	18:39:45	21:21:45
Лисиничі, Івасюка	В.	7:10:45	Тривога.	16:30:25	17:39:30	18:39:25	21:21:25
	П.	7:10:25	Тривога.	16:29:45	17:39:30	18:39:25	21:21:20
Лисиничі, Квіткова	В.	Тривога.	Тривога.	16:29:05	17:39:05	18:39:00	21:20:44
	П.	Тривога.	Тривога.	16:28:35	17:39:05	18:38:00	21:20:35
Лисиничі, Коновальця	В.	Тривога.	Тривога.	16:27:45	17:38:10	18:37:10	21:19:45
	П.	Тривога.	Тривога.	16:27:35	17:38:10	18:36:50	21:19:45
Глинянський Тракт	В.	Тривога.	Тривога.	16:26:45	17:37:25	18:36:15	21:18:45
	П.	Тривога.	Тривога.	16:25:59	17:36:45	18:34:45	21:18:10
Бігова	В.	Тривога.	Тривога.	16:25:10	17:35:45	18:33:40	21:17:25
	П.	Тривога.	8:01:20	16:25:00	17:35:45	18:33:30	21:17:15
вул. Богданівська	В.	Тривога.	7:58:30	16:22:45	17:35:30	18:31:45	21:15:35
	П.	Тривога.	7:58:00	16:22:24	17:32:45	18:30:45	21:15:35
вул. Дубова	В.	Тривога.	7:57:15	16:21:45	17:32:05	18:29:25	21:14:24
	П.	7:00:30	7:56:35	16:21:00	17:31:05	18:29:05	21:13:45
Дата проведення		11.05.2026	11.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026
Автобус номер		ВС2920ОА	ВС4360МХ	ВС4360МХ	ВС3229МХ	ВС6213ОА	ВС7096МХ

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.4 – Час простою на зупинках прямий напрямок руху

Автобус номер	ВС6213ОА	ВС4360МХ	ВС6116ЕТ	ВС3229МХ	ВС6213ОА	ВС6430ОІ	ВС6116ЕТ	Середнє значення:
Дата проведення дослідження	11.05.2026	11.05.2026	11.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	
Винники,								
Винники,	0:00:20	0:00:50	0:01:05	0:00:08	0:00:20	0:00:30	0:00:40	0:00:33
Винники,	0:00:18	0:00:00	0:00:30	0:00:00	0:00:20	0:00:00	0:00:30	0:00:14
Лисиничі,	0:00:49	0:00:21	0:00:10	0:00:00	0:00:35	0:00:35	0:00:30	0:00:26
Лисиничі,	0:00:20	0:00:15	0:00:15	0:00:45	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:14
Лисиничі,	0:00:34	0:00:40	0:00:45	0:00:50	0:01:10	0:00:30	0:00:07	0:00:39
Лисиничі,	0:00:14	0:00:51		0:00:45	0:00:15	0:00:35	0:00:27	0:00:31
Лисиничі,	0:00:05	0:00:04	0:00:00	0:00:00	0:00:08	0:00:10	0:00:08	0:00:05
Лисиничі,	0:00:29	0:00:23	0:02:05	0:00:10	0:01:01	0:01:00	0:00:49	0:00:51
Лисиничі,	0:00:52	0:00:44	0:00:45	0:00:45	0:00:00	0:00:00	0:00:20	0:00:29
Глинянськ	0:00:57	0:01:15	0:00:50	0:01:05	0:02:10	0:00:35	0:00:30	0:01:03
Бігова	0:00:17	0:00:20		0:00:30	0:00:53	0:00:30	0:00:35	0:00:31
вул.	0:00:45	0:00:30		0:00:10	0:00:30	0:00:25	0:00:35	0:00:29
вул.	0:00:34	0:00:20		0:00:35	0:00:35	0:00:25	0:00:10	0:00:26
Автостанц	0:00:39	0:00:45		0:00:20	0:03:35	0:01:45	0:00:40	0:01:17
вул.	0:01:43	0:01:35	0:01:20	0:01:50	0:01:00	0:00:00	0:00:00	0:01:04
вул.	0:00:44	0:00:15	0:01:40	0:01:10	0:00:15	0:00:30	0:00:21	0:00:42
вул.	0:01:26	0:01:15	0:00:50	0:00:48	0:00:40	0:00:50	0:00:55	0:00:58
Медичний	0:00:55	0:00:23	0:00:55	0:02:01	0:01:21	0:01:25	0:00:55	0:01:08
Військовий	0:00:35	0:00:15	0:02:10	0:00:45	0:01:00	0:00:50	0:00:35	0:00:53
пл. Митна	0:00:50	0:00:30	0:05:00	0:00:53	0:01:15	0:00:35	0:00:55	0:01:25
вул.	0:00:25	0:01:15	0:00:50	0:01:15	0:00:31	0:00:10	0:01:20	0:00:49
вул.	0:00:36	0:00:57	0:00:37	0:00:45	0:01:25	0:01:50	0:01:30	0:01:06
ТЦ	0:00:50	0:00:45	0:00:30	0:02:10	0:01:15	0:02:35	0:01:40	0:01:24
Церква	0:00:17	0:01:12	0:01:00	0:02:40	0:01:21	0:00:55	0:00:30	0:01:08
Захисникі	0:00:37	0:00:37	0:02:11	0:02:25	0:00:45	0:00:35	0:00:16	0:01:04
Цирк	0:02:00	0:01:10	0:01:05	0:01:25	0:02:00	0:01:35	0:00:10	0:01:21
пл.	0:00:40	0:01:10	0:00:45	0:00:45	0:00:15	0:01:10	0:00:49	0:00:48
Приміськи	0:00:55	0:00:50	0:00:55	0:00:20	0:00:20	0:01:00	0:01:45	0:00:52
Залізничн	0:00:20	0:00:50	0:01:05	0:00:08	0:00:20	0:00:30	0:00:40	0:00:33

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.5 – Час простою на зупинках зворотній напрямок руху

Автобус номер	Дата проведення дослідження	Винники,	Винники,	Винники,	Лисиничі,	Лисиничі,	Лисиничі,	Лисиничі,	Лисиничі,	Лисиничі,	Лисиничі,	Глинянськи	Бігова	вул.	вул.	Автостанці	вул.	вул.	Медичний	Військовий	пл. Митна	вул.	Театр	вул.	Церква	Цирк	пл.	Приміський	Залізничний вокзал	Середнє значення:
ВС2920ОА	11.05.2026		0:00:00	0:00:11	0:00:00	0:00:15	0:00:15	0:00:30	0:00:20	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	0:01:05	0:01:15	0:00:27	0:01:20	0:00:35	0:00:40	0:01:05	0:00:26	0:00:20	0:00:15	0:01:15	0:01:20	0:02:10		
ВС4360МХ	11.05.2026		0:00:00	0:00:35	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	0:00:30	0:00:40	0:00:00	0:01:25	0:00:50	0:01:30	0:00:40	0:01:40	0:00:56	0:00:47	0:00:55	0:00:10	0:01:00	0:00:20	0:00:10		
ВС4360МХ	07.05.2026		0:00:40	0:00:25	0:00:16	0:00:50	0:00:50	0:00:25	0:00:40	0:00:30	0:00:10	0:00:46	0:00:10	0:00:21	0:00:45	0:00:35	0:01:55	0:00:55	0:02:10	0:00:31	0:01:05	0:00:35	0:00:50	0:02:00	0:01:55	0:00:40	0:01:05	0:01:05		
ВС3229МХ	07.05.2026		0:00:40	0:00:16	0:00:25	0:00:45	0:00:15	0:00:10	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:40	0:00:00	0:02:45	0:01:00	0:00:35	0:01:25	0:02:45	0:02:10	0:01:35	0:02:45	0:00:51	0:01:20	0:02:15	0:00:45	0:01:15	0:02:15	0:00:30		
ВС6213ОА	07.05.2026		0:01:05	0:00:27	0:00:27	0:00:46	0:00:40	0:00:20	0:00:00	0:01:00	0:00:20	0:01:30	0:00:10	0:01:00	0:00:20	0:02:40	0:01:45	0:00:45	0:01:25	0:00:40	0:00:40	0:00:45	0:00:55	0:02:40	0:01:10	0:00:35	0:01:40	0:00:30		
ВС7096МХ	07.05.2026		0:00:15	0:00:40	0:00:00	0:00:35	0:00:35	0:00:20	0:00:05	0:00:09	0:00:00	0:00:35	0:00:10	0:00:00	0:00:39	0:01:45	0:00:10	0:00:15	0:00:35	0:00:10	0:01:30	0:00:45	0:00:50	0:00:25	0:00:55	0:01:25	0:01:35	0:00:10		
Середнє значення:			0:00:27	0:00:26	0:00:14	0:00:38	0:00:31	0:00:21	0:00:13	0:00:25	0:00:07	0:00:53	0:00:07	0:00:55	0:00:41	0:01:13	0:01:19	0:00:59	0:01:32	0:00:42	0:01:23	0:00:50	0:00:51	0:01:26	0:00:52	0:01:02	0:01:23	0:00:46		

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.6 – Час руху по перегонам зупинках прямий напрямок руху, хв

Залізничн								
Приміськи	1,07	1,00	0,67	1,67	0,92	0,92	0,92	1,02
пл.	0,67	1,42	4,75	2,75	1,67	2,25	1,28	2,11
Цирк	0,75	0,58	1,25	1,25	1,33	1,25	0,82	1,03
Захисникі	0,58	0,92	0,92	1,25	1,17	3,33	1,08	1,32
Церква	0,30	0,30	0,82	0,58	0,83	0,42	0,48	0,53
ТЦ	1,13	0,80	1,42	1,08	1,48	1,75	1,50	1,31
вул.	0,83	1,33	0,58	0,50	1,58	1,50	0,33	0,95
вул.	0,73	1,22	1,80	4,92	5,18	7,17	1,83	3,26
пл. Митна	0,67	1,50	1,67	1,75	0,83	2,92	1,33	1,52
Військовий	0,50	0,92	2,25	0,45	0,47	0,67	0,83	0,87
Медичний	1,00	1,50	1,17	0,58	0,92	0,83	0,67	0,95
вул.	1,08	0,78	1,00	0,98	1,40	1,92	1,00	1,17
вул.	0,58	0,75	0,58	0,45	0,58	0,50	0,58	0,58
вул.	0,58	0,75	1,33	0,58	1,50	1,75	0,90	1,06
Автостанц	0,30	0,42	5,83	1,00	1,67	1,25	2,00	1,78
вул.	1,35	0,92	#ЗНАЧ	1,17	1,75	2,08	1,00	1,38
вул.	0,75	1,33	#ЗНАЧ	1,22	1,00	0,58	1,17	1,01
Бігова	2,25	2,83	#ЗНАЧ	1,78	3,22	2,58	2,50	2,53
Глинянськ	1,30	0,67	#ЗНАЧ	0,33	0,48	0,50	0,67	0,66
Лисиничі,	0,47	0,43	3,92	0,67	0,83	0,83	1,50	1,24
Лисиничі,	1,15	0,67	0,75	1,17	1,00	0,92	1,35	1,00
Лисиничі,	0,85	0,52	1,33	0,50	0,60	0,92	0,50	0,75
Лисиничі,	0,32	0,28	0,33	0,50	0,25	0,25	0,53	0,35
Лисиничі,	0,43	0,48	15,83	0,50	0,42	0,42	0,88	0,52
Лисиничі,	1,10	0,67	1,08	0,33	1,08	0,42	0,55	0,75
Лисиничі,	0,28	0,42	0,50	0,50	0,42	0,42	1,00	0,50
Винники,	2,18	2,23	2,00	2,17	2,42	1,75	2,33	2,15
Винники,	0,67	0,43	0,75	0,37	1,00	0,58	0,33	0,59
Винники,	0,58	0,90	0,67	1,33	0,75	1,33	1,75	1,05
Дата проведення дослідження	11.05.2026	11.05.2026	11.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	
Автобус номер	ВС6213ОА	ВС4360МХ	ВС6116ЕТ	ВС3229МХ	ВС6213ОА	ВС6430ОІ	ВС6116ЕТ	Середнє значення:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.7 – Час руху по перегонам зупинках прямий напрямок руху, хв

Автобус номер	Дата проведення дослідження	Винники,	Винники,	Винники,	Лисиничі,	Лисиничі,	Лисиничі,	Лисиничі,	Лисиничі,	Лисиничі,	Глинянськи	Бігова	вул.	вул.	Автостанці	вул.	вул.	Медичний	Військовий	пл. Митна	вул.	Театр	вул.	Церква	Цирк	пл.	Приміський	Залізничний вокзал
ВС2920ОА	11.05.2026		1,08	1,00	1,67	0,98	0,67	0,33	0,50	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	1,17	0,83	0,75	0,55	0,67	0,75	0,92	1,25	1,40	0,75	1,00	0,67	0,50	0,58
ВС4360МХ	11.05.2026		5,92	1,00	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	2,83	0,75	2,83	2,00	1,50	0,75	1,00	0,67	0,58	0,48	1,55	2,08	1,83	0,67	1,25	0,58
ВС4360МХ	07.05.2026		0,32	1,00	1,58	0,73	0,42	0,52	0,32	0,67	0,83	0,82	2,25	0,65	2,58	2,50	2,42	1,33	0,92	0,82	1,00	0,67	3,42	1,50	0,67	1,67	0,92	0,75
ВС3229МХ	07.05.2026		0,83	0,58	0,82	0,58	0,67	0,50	0,33	0,42	0,75	1,00	0,25	0,67	4,00	3,25	2,83	0,50	0,42	0,58	0,83	0,48	1,50	2,92	0,58	2,33	0,83	0,58
ВС6213ОА	07.05.2026		0,58	0,58	1,55	0,55	0,48	0,42	0,33	0,42	0,58	1,08	1,75	1,33	2,42	2,25	3,50	1,00	0,58	0,67	2,42	0,75	2,33	1,17	0,83	1,75	0,67	0,58
ВС7096МХ	07.05.2026		0,83	1,08	0,92	0,42	0,42	0,42	0,33	0,60	1,00	0,75	1,67	1,18	2,42	1,50	1,50	0,75	1,08	0,50	1,25	0,58	1,25	0,58	1,08	0,83	0,42	0,25
Середнє значення:			1,59	0,88	1,31	0,65	0,53	0,44	0,36	0,53	0,85	0,79	0,91	1,75	0,92	2,57	2,06	2,08	0,81	0,78	0,66	1,04	0,70	1,91	1,50	1,00	1,32	0,76	0,56

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.8 – Швидкість руху по перегонам зупинках прямий напрямок_руху, км/год

Залізничн								
Приміськи	31,57	33,67	50,51	20,20	36,73	36,73	36,73	35,16
пл.	39,28	18,48	5,51	9,52	15,71	11,64	20,40	17,22
Цирк	43,27	55,63	25,96	25,96	24,34	25,96	39,74	34,41
Захисникі	39,28	25,00	25,00	18,33	19,64	6,87	21,15	22,18
Церква	49,90	49,90	18,33	25,66	17,97	35,93	30,97	32,67
ТЦ	25,58	36,24	20,47	26,76	19,55	16,57	19,33	23,50
вул.	18,53	11,58	26,47	30,88	9,75	10,29	46,32	21,98
вул.	55,97	33,74	22,80	8,35	7,92	5,73	22,39	22,41
пл. Митна	42,90	19,07	17,16	16,34	34,32	9,81	21,45	23,01
Військовий	47,22	25,76	10,49	52,47	50,59	35,41	28,33	35,75
Медичний	26,01	17,34	22,29	44,58	28,37	31,21	39,01	29,83
вул.	27,66	38,26	29,97	30,48	21,41	15,64	29,97	27,63
вул.	43,95	34,18	43,95	56,97	43,95	51,28	43,95	45,46
вул.	49,68	38,64	21,74	49,68	19,32	16,56	32,20	32,55
Автостанц	47,16	33,95	2,43	14,15	8,49	11,32	7,07	17,79
вул.	31,37	46,20	#ЗНАЧ	36,30	24,20	20,33	42,35	33,45
вул.	58,89	33,12	#ЗНАЧ	36,30	44,17	75,71	37,86	47,67
Бігова	22,88	18,17	#ЗНАЧ	28,87	16,00	19,93	20,59	21,07
Глинянськ	15,31	29,85	#ЗНАЧ	59,69	41,17	39,79	29,85	35,94
Лисиничі,	71,69	77,21	8,54	50,18	40,15	40,15	22,30	44,32
Лисиничі,	36,85	63,57	56,51	36,33	42,38	46,23	31,39	44,75
Лисиничі,	30,36	49,94	19,35	51,60	43,00	28,15	51,60	39,14
Лисиничі,	42,04	46,99	39,94	26,63	53,26	53,26	24,96	41,01
Лисиничі,	42,29	37,91	1,16	36,65	43,98	43,98	20,74	32,39
Лисиничі,	20,84	34,39	21,16	68,78	21,16	55,03	41,69	37,58
Лисиничі,	78,23	53,19	44,33	44,33	53,19	53,19	22,16	49,80
Винники,	21,60	21,12	23,58	21,77	19,51	26,95	20,21	22,11
Винники,	28,69	44,15	25,51	52,17	19,13	32,79	57,39	37,12
Винники,	46,78	30,32	40,93	20,47	36,39	20,47	15,59	30,14
Дата проведення дослідження	11.05.2026	11.05.2026	11.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	07.05.2026	
Автобус номер	ВС6213ОА	ВС4360МХ	ВС6116ЕТ	ВС3229МХ	ВС6213ОА	ВС6430ОІ	ВС6116ЕТ	Середнє значення:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.9 – Швидкість руху по перегонам зупинках зворотний напрямок руху, км/год

Автобус номер	Дата проведення дослідження	BC2920OA	BC4360MX	BC4360MX	BC3229MX	BC6213OA	BC7096MX	Середнє значення:
Винники,								
Винники,	11.05.2026	23,57	4,32	80,64	30,64	43,77	30,64	35,60
Винники,	11.05.2026	24,26	24,26	24,26	41,59	41,59	22,39	29,73
Лисиничі,	07.05.2026	26,10	#ЗНАЧ!	27,47	53,26	28,06	47,45	36,47
Лисиничі,	07.05.2026	23,15	#ЗНАЧ!	31,04	39,02	41,38	54,62	37,84
Лисиничі,	07.05.2026	35,51	#ЗНАЧ!	56,82	35,51	48,99	56,82	46,73
Лисиничі,	07.05.2026	54,00	#ЗНАЧ!	34,84	36,00	43,20	43,20	42,25
Лисиничі,	07.05.2026	29,32	#ЗНАЧ!	46,30	43,98	43,98	43,98	41,51
Лисиничі,	07.05.2026	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	32,70	52,32	52,32	36,33	43,42
Лисиничі,	07.05.2026	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	53,37	48,52	53,37	53,37	52,16
Глинянськи	07.05.2026	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	41,63	46,25	59,46	34,69	45,51
Бігова	07.05.2026	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	25,47	20,80	19,20	27,74	23,30
вул.	07.05.2026	#ЗНАЧ!	16,04	20,19	181,75	25,96	27,26	22,36
вул.	07.05.2026	#ЗНАЧ!	36,36	41,96	40,91	20,45	23,05	32,54
Автостанці	07.05.2026	46,11	18,98	20,82	13,45	22,26	22,26	23,98
вул.	07.05.2026	56,26	23,44	18,75	14,42	20,84	31,25	27,49
вул.	07.05.2026	37,63	18,81	11,68	9,96	8,06	18,81	17,49
Медичний	07.05.2026	41,61	30,51	17,16	45,77	22,88	30,51	31,41
Військовий	07.05.2026	43,80	29,20	31,85	70,08	50,06	26,95	41,99
пл. Митна	07.05.2026	32,53	36,60	29,88	41,83	36,60	48,80	37,71
вул.	07.05.2026	29,78	46,80	27,30	32,76	11,30	54,60	33,76
Театр	07.05.2026	17,41	45,01	32,64	45,01	29,01	37,30	34,40
вул.	07.05.2026	28,87	26,07	11,83	26,94	17,32	32,33	23,90
Церква	07.05.2026	38,36	13,81	19,18	9,86	24,66	49,32	25,87
Цирк	07.05.2026	22,02	12,01	33,03	37,75	26,43	20,33	25,26
пл.	07.05.2026	57,11	57,11	22,84	16,32	21,76	45,69	36,81
Приміський	07.05.2026	57,29	22,91	31,25	34,37	42,97	68,74	42,92
Залізничний вокзал	07.05.2026	38,46	38,46	29,92	38,46	38,46	89,75	45,59

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Другим етапом дослідження стало проведення GPS-моніторингу роботи автобусів протягом повного робочого дня. Для цього використовувався сервіс онлайн-моніторингу громадського транспорту «EasyWay».

Під час дослідження через певні проміжки часу здійснювалося копіювання фактичного положення автобусів на маршруті. Інтервал між фіксаціями становив приблизно 2-10 хвилин залежно від інтенсивності руху та дорожньої ситуації.

У результаті було сформовано масив даних щодо:

- фактичного розташування автобусів;
- часу перебування на маршруті;
- часу прибуття на кінцеві зупинки;
- часу відправлення;
- простоїв;
- виконання обертів;
- відхилень від графіка;
- випадків сходу автобусів із маршруту.

Для кожного автобуса визначалися:

- кількість виконаних рейсів;
- кількість обертів;
- тривалість роботи на маршруті;
- час початку та завершення роботи;
- тривалість відстою на кінцевих зупинках.

У процесі дослідження було встановлено, що окремі автобуси працювали на маршруті нерівномірно. Частина автобусів виконувала неповні оберти або сходила з маршруту до завершення робочого дня. Також були зафіксовані випадки значних простоїв на кінцевих зупинках.

Для окремих автобусів спостерігалися:

- відхилення від графіка руху;
- нерівномірні інтервали;
- довільний час початку руху;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- нестабільність виконання рейсів.

Такі особливості експлуатації маршруту значно ускладнюють забезпечення регулярності руху та підтверджують необхідність використання диференційованих норм часу оберту.

2.4 Обробка даних

Після проведення експериментальних досліджень було виконано обробку отриманих результатів з метою визначення закономірностей зміни параметрів роботи автобусного маршруту №29 протягом доби.

Також варто зважати на те, що в умовах воєнного стану, а також через сумарні затримки у роботі системи GPS та сервісів передачі даних, вихідна інформація може містити певні похибки. Проте в окремих випадках ці похибки нівелюють одна одну і не мають істотного впливу на загальні результати розрахунків.

2.4.1 Обробки даних за хронометражним обстеженням

Периферійною частиною міста було прийняті зупинки: «Винники-Автостанція №6» для прямого напрямку, та було прийнято зупинки «вул. Дубова-Винники» для зворотного напрямку.

Центральною частиною міста прийнято було зупинки: «вул. Пасічна-Залізничний вокзал» для прямого напрямку, та було прийнято зупинки «Залізничний вокзал- Автостанція №6» для зворотного напрямку.

Хронометражне обстеження руху автобусів маршруту №29 у прямому та зворотному напрямках дає наступні висновки:

1) Час простою на проміжних зупинках:

У прямому напрямку руху маршруту «Винники-Автостанція №6» у периферійній частині міста середній час простою на проміжних зупинках складає 34 секунди. А вже в центральній частині міста «вул. Пасічна-

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Залізничний вокзал» час простою на зупинках в середньому збільшується до 63 секунд.

У зворотному напрямку руху маршруту «вул. Дубова-Винники» периферійній частині міста час простою на проміжних зупинках складає 28 секунд. А вже для центральної частини міста «Залізничний вокзал- Автостанція №6» час простою на проміжних зупинках складав 66 секунд.

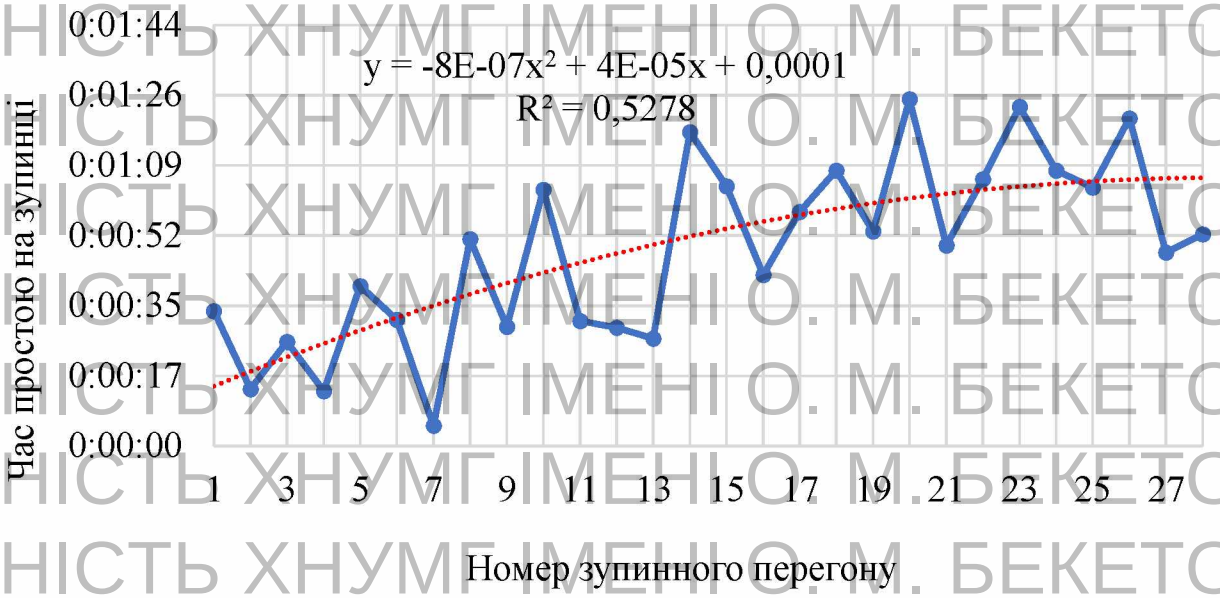


Рисунок 2.6 - Час простою на проміжних зупинках «Прямий напрямок»

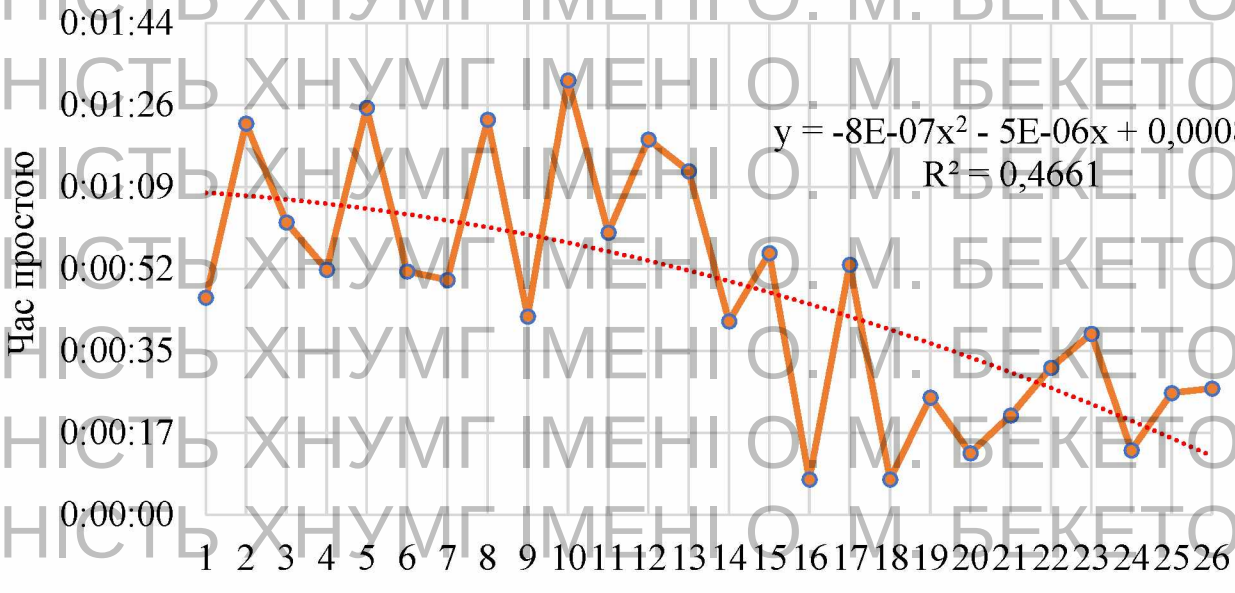


Рисунок 2.7 - Час простою на проміжних зупинках «Зворотний напрямок»

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

2) Час руху між проміжними зупинками:

У прямому напрямку руху маршруту «Винники-Автостанція №6» у периферійній частині міста середній час руху між перегонами складає 1,08 хв в середньому. А вже в центральній частині міста «вул. Пасічна-Залізничний вокзал» час руху між перегонами в середньому збільшується до в середньому 1,26 хв.

У зворотному напрямку руху маршруту «вул. Дубова-Винники» периферійній частині міста час руху між проміжними зупинками в середньому складає 0,89 хв. А вже для центральної частини міста «Залізничний вокзал-Автостанція №6» час руху по перегонам складає 1,27 хв.

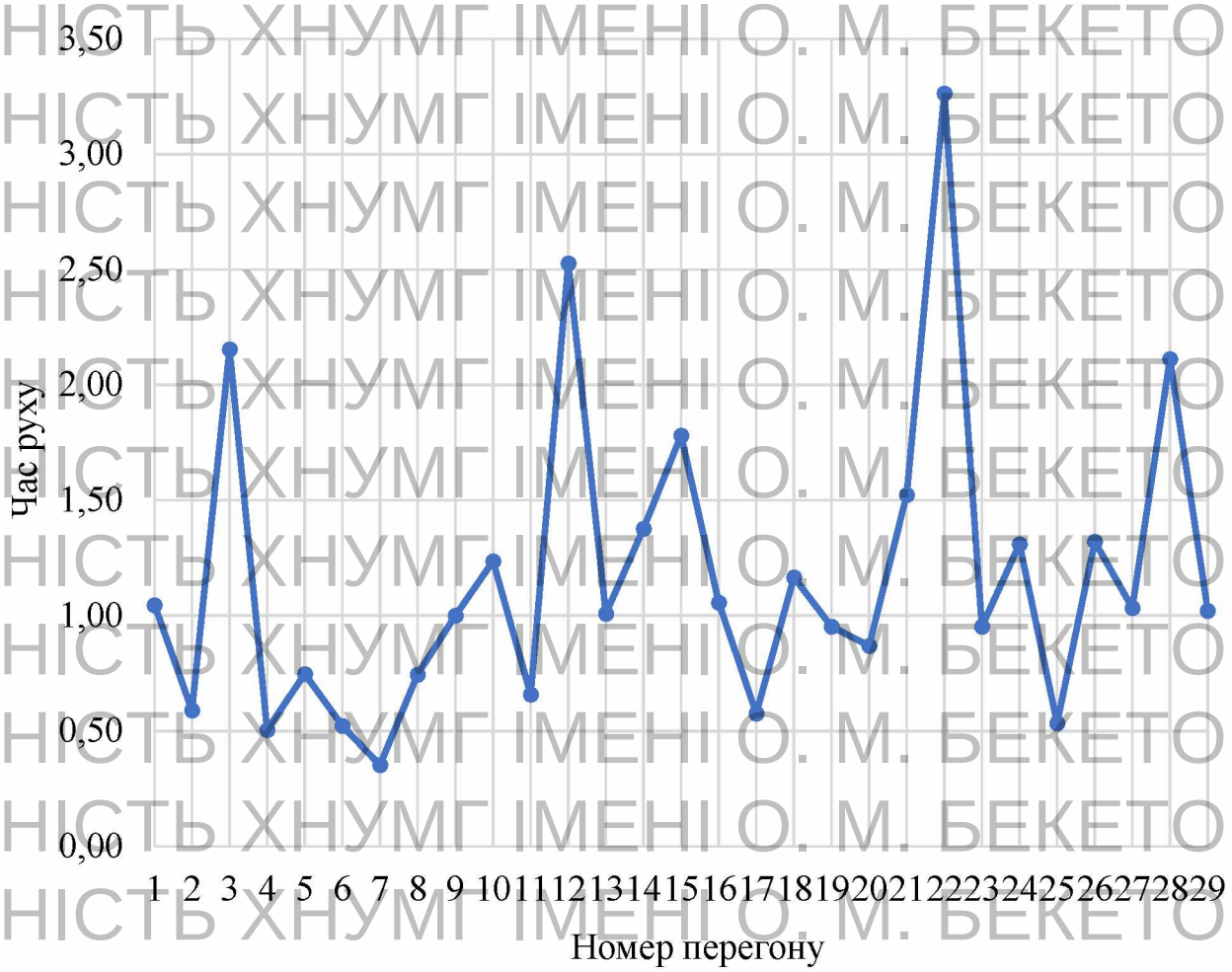


Рисунок 2.8 - Час руху по перегонам «Прямий напрямок»

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

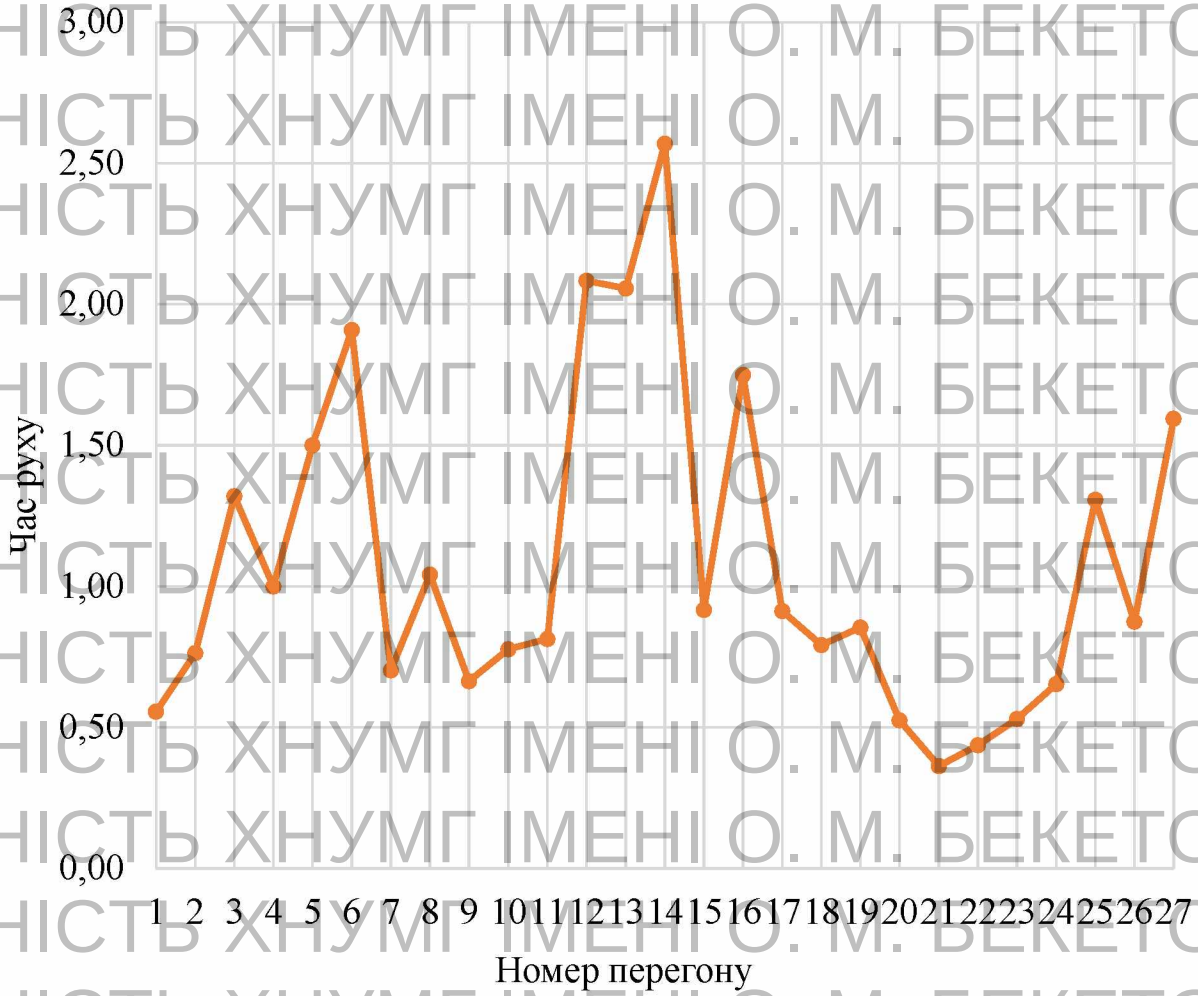


Рисунок 2.9 - Час руху по перегонам «Зворотний напрямок»

Якщо привести до однієї одиниці виміру відстань між перегонами та час руху між проміжними зупинками через виведення пропорцій то можна побачити певну залежність часу руху від відстані руху між перегонами. Якщо порахувати коефіцієнт кореляції то можна отримати наступну залежність:

Для прямого напряму руху «час руху-відстань перегонів» складає 0,596, що відповідає прямій помірній залежності часу руху від відстані перегонів.

Для зворотного напряму «час руху-відстань перегонів» складає 0,742, що відповідає прямій сильній залежності часу руху від відстані перегонів.

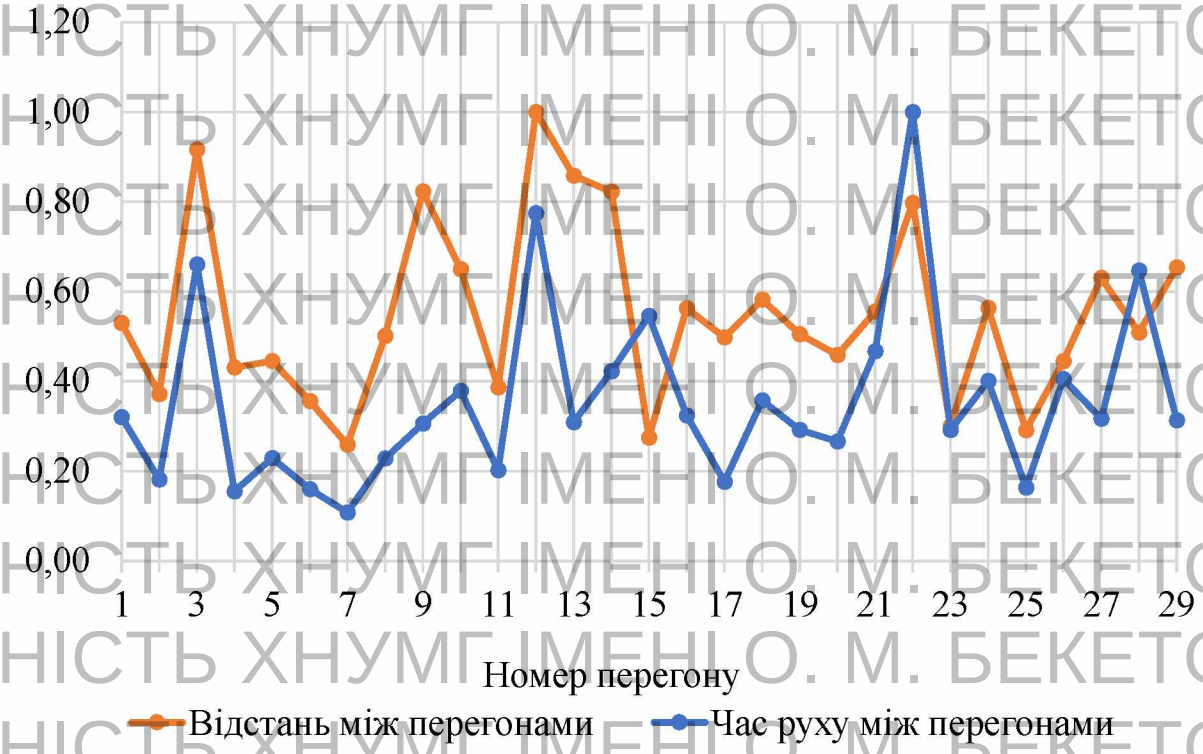


Рисунок 2.10 - Діаграма розсіювання та кореляційної залежності часу руху від довжини перегонів «Прямий напрямок»

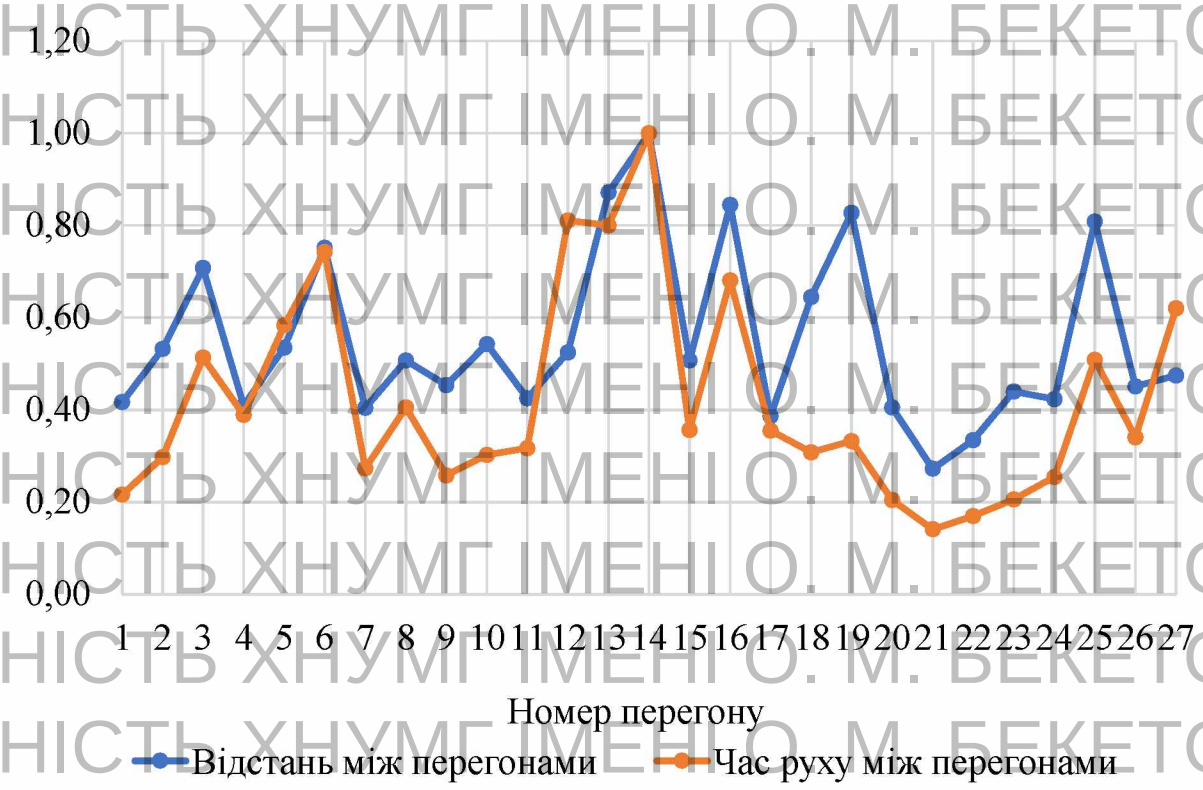


Рисунок 2.11 - Діаграма розсіювання та кореляційної залежності часу руху від довжини перегонів «Зворотний напрямок»

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

3) Швидкість руху між перегонами:

У прямому напрямку руху маршруту «Винники-Автостанція №6» у периферійній частині міста середня ходова швидкість руху складає 35,62 км/год.

А вже в центральній частині міста «вул. Пасічна-Залізничний вокзал» середня ходова швидкість руху складає 28,84 км/год.

У зворотному напрямку руху маршруту «вул. Дубова-Винники» периферійній частині міста середня ходова швидкість руху складає 32,04 км/год.

А вже для центральної частини міста «Залізничний вокзал- Автостанція №6» середня ходова швидкість руху складав 37,65 км/год.

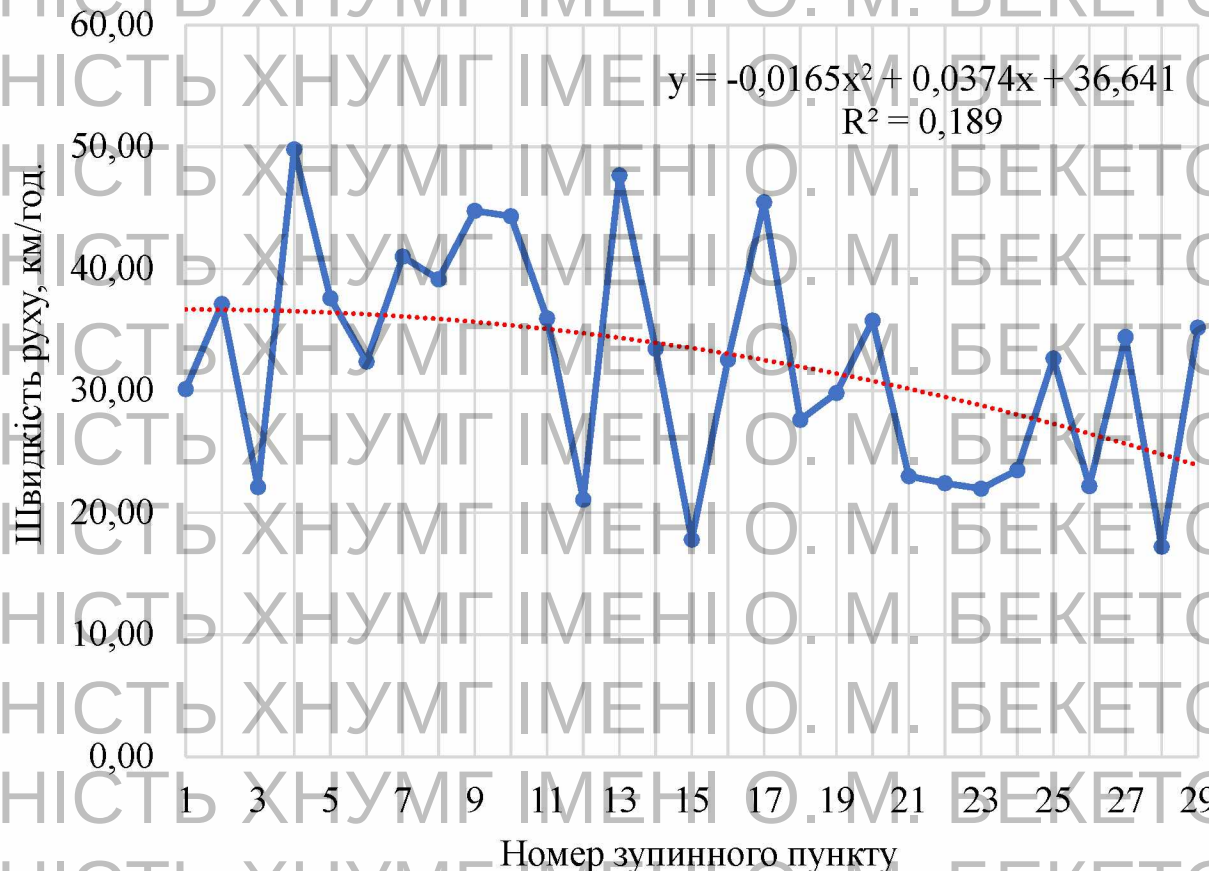


Рисунок 2.12 – Ходова швидкість руху між перегонами «Прямий напрямок»

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

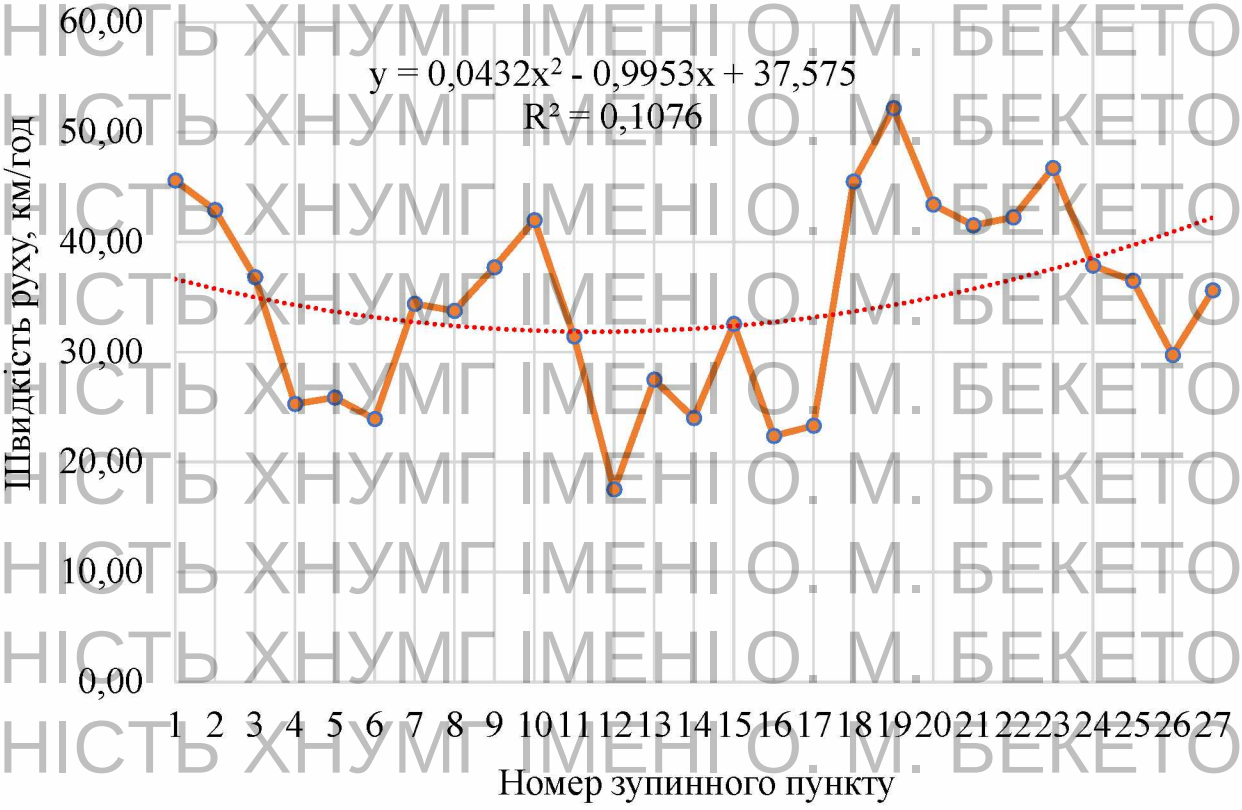


Рисунок 2.13 - Ходова швидкість руху між перегонами «Зворотний напрямок»

2.4.2 Обробки даних зібраних GPS-моніторингом

Обробка зібраних даних GPS-моніторингом відбувалась наступним чином:

1) Для визначення фактичних показників роботи пасажирського транспорту на маршруті №29 (м. Львів) було проведено безперервний GPS-моніторинг рухомого складу. Було зібрано дані за допомогою відкритої системи диспетчеризації громадського транспорту «EasyWay». Моніторинг проводився протягом усієї робочої зміни маршруту - з 06:00 до 22:00 18.05.2026.

У процесі збору інформації в режимі реального часу фіксувались розташування транспортних засобів на маршруті та прогнозований час їх прибуття на всі зупиночні пункти як у прямому, так і у зворотному напрямках руху.

2) Отримані телеметричні дані системно записувалися до середовища табличного процесора Microsoft Excel із фіксацією точного часу зняття

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

показників. Первинна база даних сформована у вигляді масиву, що містить близько 205 ітерацій (стовпців) вимірювань для прямого напрямку руху та 203 стовпців у зворотному напрямку.

Рисунок 2.14 - Фрагмент первинного масиву GPS-даних руху автобусів на маршруті №29

Загалом 30 000 записів параметрів руху автобусів.

На «EasyWay». для забезпечення простежуваності кожного окремого автобуса на маршруті було застосовано метод ідентифікації за державними реєстраційними номерами. Ця особливість дає можливість точно відстежувати

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

траєкторію та час роботи кожної одиниці рухомого складу протягом доби. Додаткове пофарбування кожного автобусу в індивідуальний колір спростило відстеження роботи автобусів на маршруті.

3) На основі систематизованого первинного масиву було розроблено зведену таблицю фактичного часу виконання рейсів, де фіксувалися моменти початку та закінчення руху для кожної одиниці рухомого складу.

На наступному кроці провів співставлення фактичного часу початку рейсу з розкладом. Виявив суттєвий рівень нестабільності транспортного обслуговування: близько 30% зафіксованих відправлень здійснювалися з порушенням затвердженого графіка.

До основних видів експлуатаційних відхилень які були записані та помічені на маршруті:

- Невиконання відправлення у регламентований розкладом час (навіть за умови технічної готовності рухомого складу);
- Систематичні затримки відправлення з кінцевих зупиночних пунктів тривалістю від 5 хвилин і більше;
- Виїзд на маршрут у міжінтервальні проміжки, що призводить до порушення ритмічності та такту руху;
- Початок рейсу з невідповідного кінцевого пункту маршруту.

Усі виявлені порушення диспетчеризації та часові аномалії були ідентифіковані та спеціально виділені у зведеній матриці за допомогою кольорового (жовтого) маркування комірок для подальшого врахування при моделюванні розкладу.

Для забезпечення високої точності подальших розрахунків експлуатаційних показників, сформований масив даних був очищення від нерепрезентативних значень.

З вибірки було вилучено такі типи статистичних викидів:

- Укорочені (односторонні) рейси, під час яких транспортний засіб виконував рух лише в одному напрямку без завершення повного оберту;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- Неповні рейси, що були перервані позаплановим з'їздом рухомого складу в автотранспортне підприємство (АТП) з проміжних точок маршруту (зокрема, зафіксовані з'їзди в районі зупинки «Підвальна»).

Після вилучення неповних циклів, валідні дані щодо повних оборотних рейсів були хронологічно відсортовані від початку робочої зміни до її завершення.

Час оберту Автобусів протягом доби:					п.	в.	
		КЗ_1	КЗ_2	КЗ_2	КЗ_1	КЗ_1	
		Винники,	Залізничн	Залізничн	Винники,	Винники,	Винничен
ВС6213ОА	1	6:00	6:44	7:12	8:17	8:24	
ВС6213ОА	2	8:24	9:44	9:50	10:38	10:48	
ВС6213ОА	3	10:48	11:40	12:00	12:52	13:44	
ВС6213ОА	4	13:44	14:35	14:56	15:50	16:08	
ВС6213ОА	5	16:08	17:18	17:20	18:27	18:32	
ВС6213ОА	6	18:32	19:23	19:44	20:32		(Відразу п
ВС4360МІ	1	6:16	7:24	7:26	8:28	8:40	
ВС4360МІ	2	8:40	9:51	10:05	10:52	11:02	
ВС4360МІ	3	11:02	11:52	12:16	13:07	14:00	
ВС4360МІ	4	14:00	14:55	15:12	16:10	16:24	
ВС4360МІ	5	16:24	17:34	17:36	18:34	18:48	
ВС4360МІ	6	18:48	19:36	20:00	20:47	20:50	
ВС4360МІ	7	20:50	21:16				(Зник на з
ВС2920ОА	1		6:33	6:36	7:21	7:52	
ВС2920ОА	2	7:52	9:19	9:21			
ВС2920ОА	3		17:17	19:08	20:00	20:38	
ВС2920ОА	4	20:38	21:21				(Зробив 4
ВС3229МІ	1	6:32	7:15	7:46	8:37	8:56	
ВС3229МІ	2	8:56	10:01	10:15	11:08	11:18	
ВС3229МІ	3	11:18	12:05	12:48	13:24	14:16	
ВС3229МІ	4	14:16	15:24	15:28	16:21	16:40	
ВС3229МІ	5	16:40	17:43	17:50	18:50	19:04	
ВС3229МІ	6	19:04	19:50	20:16	21:00		(З 21:19 пс
ВС2567ЕТ	1	6:48	7:35	8:10	8:57	9:12	
ВС2567ЕТ	2	9:12	10:16	10:32	11:30	11:36	
ВС2567ЕТ	3	11:36	12:30	12:48	13:43	14:32	
ВС2567ЕТ	4	14:32	15:24	15:44	16:40	16:56	
ВС2567ЕТ	5	16:56	18:08	18:09	19:08	19:24	
ВС2567ЕТ	6	19:24	20:16	20:33	21:17		(З 21:23 пс
ВС6430ОІ	1	7:04	8:00	8:16	9:14	9:28	
ВС6430ОІ	2	9:28	10:26	10:40	11:33	11:53	
ВС6430ОІ	3	11:53	12:42	13:04	13:58	14:48	
ВС6430ОІ	4	14:48	15:46	16:04	16:57	17:12	
ВС6430ОІ	5	17:12	18:26	18:31	19:23	19:40	
ВС6430ОІ	6	19:40	20:46	20:50	21:34		(З 21:43 пс
ВС1873ЕО	1	7:20	8:26	8:32	9:27	9:45	
ВС1873ЕО	2	9:45	10:48	10:59	11:49	12:49	
ВС1873ЕО	3	12:49	13:38	13:52	14:54	15:05	
ВС1873ЕО	4	15:05	15:50	16:16	17:12	17:28	
ВС1873ЕО	5	17:28	18:33	18:42	19:32	19:58	
ВС1873ЕО	6	19:58	20:42	21:10	22:00		(В 22:20 б
ВС6116ЕТ	1	7:36	9:05	9:08	10:08	10:09	
ВС6116ЕТ	2	10:09	11:03	11:16	12:15	12:34	
ВС6116ЕТ	3	12:34	13:24	13:30	14:20	15:20	
ВС6116ЕТ	4	15:20	16:14	16:34	17:30	17:44	
ВС6116ЕТ	5	17:44	18:51	18:52	19:50	20:17	
ВС6116ЕТ	6	20:17	21:00	21:32	22:17		
ВС5362ОА	1			6:53	7:42	8:08	
ВС5362ОА	2	8:08	9:34	9:36	10:35	10:36	
ВС5362ОА	3	10:36	11:29	11:42	12:30	13:29	
ВС5362ОА	4	13:29	14:26	14:34	15:25	15:45	
ВС5362ОА	5	15:45	16:35	16:57	17:52	18:12	
ВС5362ОА	6	18:12	19:05	19:30	20:16	21:05	
ВС5362ОА	7	21:05	21:53				

Рисунок 2.15 - Зведена таблиця часу виконання оборотних рейсів із маркуванням експлуатаційних відхилень від нормативного розкладу

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Час оберту Автобусів протягом доби:		КЗ_1	КЗ_2	КЗ_2	п. КЗ_1	в. КЗ_1	Час оберту автобусі	
		Винники,	Залізничн	Залізничн	Винники,	Винники, Винничен	Простій:	Без прост
ВС6213ОА	1	6:00	6:44	7:12	8:17	8:24	2:24	1:49
ВС4360МІ	1	6:16	7:24	7:26	8:28	8:40	2:24	2:10
ВС3229МІ	1	6:32	7:15	7:46	8:37	8:56	2:24	1:34
ВС2567ЕТ	1	6:48	7:35	8:10	8:57	9:12	2:24	1:34
ВС6430ОІ	1	7:04	8:00	8:16	9:14	9:28	2:24	1:54
ВС1873ЕО	1	7:20	8:26	8:32	9:27	9:45	2:25	2:01
ВС6116ЕТ	1	7:36	9:05	9:08	10:08	10:09	2:33	2:29
ВС5362ОА	2	8:08	9:34	9:36	10:35	10:36	2:28	2:25
ВС6213ОА	2	8:24	9:44	9:50	10:38	10:48	2:24	2:08
ВС4360МІ	2	8:40	9:51	10:05	10:52	11:02	2:22	1:58
ВС3229МІ	2	8:56	10:01	10:15	11:08	11:18	2:22	1:58
ВС2567ЕТ	2	9:12	10:16	10:32	11:30	11:36	2:24	2:02
ВС6430ОІ	2	9:28	10:26	10:40	11:33	11:53	2:25	1:51
ВС1873ЕО	2	9:45	10:48	10:59	11:49	12:49	3:04	1:53
ВС6116ЕТ	2	10:09	11:03	11:16	12:15	12:34	2:25	1:53
ВС5362ОА	3	10:36	11:29	11:42	12:30	13:29	2:53	1:41
ВС6213ОА	3	10:48	11:40	12:00	12:52	13:44	2:56	1:44
ВС4360МІ	3	11:02	11:52	12:16	13:07	14:00	2:58	1:41
ВС3229МІ	3	11:18	12:05	12:48	13:24	14:16	2:58	1:23
ВС2567ЕТ	3	11:36	12:30	12:48	13:43	14:32	2:56	1:49
ВС6430ОІ	3	11:53	12:42	13:04	13:58	14:48	2:55	1:43
ВС6116ЕТ	3	12:34	13:24	13:30	14:20	15:20	2:46	1:40
ВС1873ЕО	3	12:49	13:38	13:52	14:54	15:05	2:16	1:51
ВС5362ОА	4	13:29	14:26	14:34	15:25	15:45	2:16	1:48
ВС6213ОА	4	13:44	14:35	14:56	15:50	16:08	2:24	1:45
ВС4360МІ	4	14:00	14:55	15:12	16:10	16:24	2:24	1:53
ВС3229МІ	4	14:16	15:24	15:28	16:21	16:40	2:24	2:01
ВС2567ЕТ	4	14:32	15:24	15:44	16:40	16:56	2:24	1:48
ВС6430ОІ	4	14:48	15:46	16:04	16:57	17:12	2:24	1:51
ВС1873ЕО	4	15:05	15:50	16:16	17:12	17:28	2:23	1:41
ВС6116ЕТ	4	15:20	16:14	16:34	17:30	17:44	2:24	1:50
ВС5362ОА	5	15:45	16:35	16:57	17:52	18:12	2:27	1:45
ВС6213ОА	5	16:08	17:18	17:20	18:27	18:32	2:24	2:17
ВС4360МІ	5	16:24	17:34	17:36	18:34	18:48	2:24	2:08
ВС3229МІ	5	16:40	17:43	17:50	18:50	19:04	2:24	2:03
ВС2567ЕТ	5	16:56	18:08	18:09	19:08	19:24	2:28	2:11
ВС6430ОІ	5	17:12	18:26	18:31	19:23	19:40	2:28	2:06
ВС1873ЕО	5	17:28	18:33	18:42	19:32	19:58	2:30	1:55
ВС6116ЕТ	5	17:44	18:51	18:52	19:50	20:17	2:33	2:05
ВС5362ОА	6	18:12	19:05	19:30	20:16	21:05	2:53	1:39
ВС4360МІ	6	18:48	19:36	20:00	20:47	20:50	2:02	1:35

Рисунок 2.16 – Фінальний етап обробки даних зібраних GPS-моніторингом

Завершальним етапом обробки стала інтеграція очищеного масиву в середовище minecraft excel документ: «Розклад руху автобусів_Диплом_2026» для побудови розрахункової моделі. Дані було конвертовано у формат динамічної таблиці (розумна таблиця), архітектура якої автоматично масштабується під обсяг внесеної інформації. Застосування такого динамічного середовища дозволило автоматизувати обчислення ключових проектних параметрів, зокрема норми часу рейсу та загальної тривалості оберту на маршруті.

2.5 Визначення диференційований норм часу оберту

Розрахунки таких параметрів як: диференційовані норми часу оберту; потрібна кількість автобусів; графо-аналітична таблиця; стрічковий графік; та розклад руху в документі «Розклад руху автобусів_Диплом_2026» на різних листах документу, але будучи пов’язаними один з одним для напівавтоматизації розрахунків.

Для визначення диференційованих норм часу необхідно обрати кількість періодів дослідження до яких буде визначатися ця диференційована норма часу оберту. Розрахункові дослідження показали, що бажано обирати 5 часових проміжків роботи маршруту, а саме: до «пік», ранковий «пік», «міжпік», вечірній «пік», вечір.

Для кожного часового проміжку визначається своя «група» обертів, котрі будуть враховуватися для визначення норми часу оберту саме для цієї групи.

Мажами цієї групи є таблиця з тривалістю годин «пік» на аркуші (Вихідні дані) таблиця 2.9.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 2.10 - Години "пік" на маршруті

Години "пік" на маршруті:	
Ранковий "пік":	
7:30	9:30
Вечірній "пік":	
16:00	18:30

Години пік можна обирати на власний розсуд, формула буде автоматично підлаштовуватися та визначати групи обертів і відносити до відповідної години доби (години «пік», «міжпік» і т.д.)

G2 fx =D2-C2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Назва автобуса	Номер обертu	Кінцева_1 Виїзд	Кінцева_2 Прибуття	Кінцева_2 Виїзд	Кінцева_1 Прибуття	Час руху пр.напрямок	Час руху зв.напрямок	Час оборотного рейсу без КЗ	Група
2	ВС6213ОА	1	6:00	6:44	7:12	8:17	0:44	1:05	1:49	1
3	ВС4360МХ	1	6:16	7:24	7:26	8:28	1:08	1:02	2:10	1
4	ВС3229МХ	1	6:32	7:15	7:46	8:37	0:43	0:51	1:34	1
5	ВС2567ЕТ	1	6:48	7:35	8:10	8:57	0:47	0:47	1:34	1
6	ВС6430ОІ	1	7:04	8:00	8:16	9:14	0:56	0:58	1:54	1
7	ВС1873ЕО	1	7:20	8:26	8:32	9:27	1:06	0:55	2:01	1
8	ВС6116ЕТ	1	7:36	9:05	9:08	10:08	1:29	1:00	2:29	2
9	ВС5362ОА	2	8:08	9:34	9:36	10:35	1:26	0:59	2:25	2
10	ВС6213ОА	2	8:24	9:44	9:50	10:38	1:20	0:48	2:08	2
11	ВС4360МХ	2	8:40	9:51	10:05	10:52	1:11	0:47	1:58	2
12	ВС3229МХ	2	8:56	10:01	10:15	11:08	1:05	0:53	1:58	2
13	ВС2567ЕТ	2	9:12	10:16	10:32	11:30	1:04	0:58	2:02	2
14	ВС6430ОІ	2	9:28	10:26	10:40	11:33	0:58	0:53	1:51	2
15	ВС1873ЕО	2	9:45	10:48	10:59	11:49	1:03	0:50	1:53	3
16	ВС6116ЕТ	2	10:09	11:03	11:16	12:15	0:54	0:59	1:53	3

Рисунок 2.17 – Розумна/динамічна таблиця має наступний вигляд

Назва автобусу, Кінцева_1 Виїзд, Кінцева_2 Прибуття, Кінцева_2 Виїзд, Кінцева_1 Прибуття – є даними емпіричного дослідження/GPS-моніторингом.

Час руху пр.напрямок. визначається наступним чином:

=D2-C2

Тобто різниця між Кінцева_2 Прибуття та Кінцева_1 Виїзд, отримуємо час рейсу, або час прямого руху, або час сполучення у прямому напрямку.

Час руху зв.напрямок визначається наступним чином:

=F2-E2

Тобто різниця між Кінцева_2 Виїзд та Кінцева_1 Прибуття, отримуємо час рейсу, або час зворотного руху, або час сполучення у зворотному напрямку.

Можна побачити вже велику різницю між часом руху прямому та зворотному напрямках.

Час оборотного рейсу без простою на кінцевих зупинках визначається наступним чином:

=G2+H2

Тобто сума часу рейсу в прямому та зворотному напрямку. Можна наочно побачити, що в часи піку час необхідний на завершення обороту збільшується.

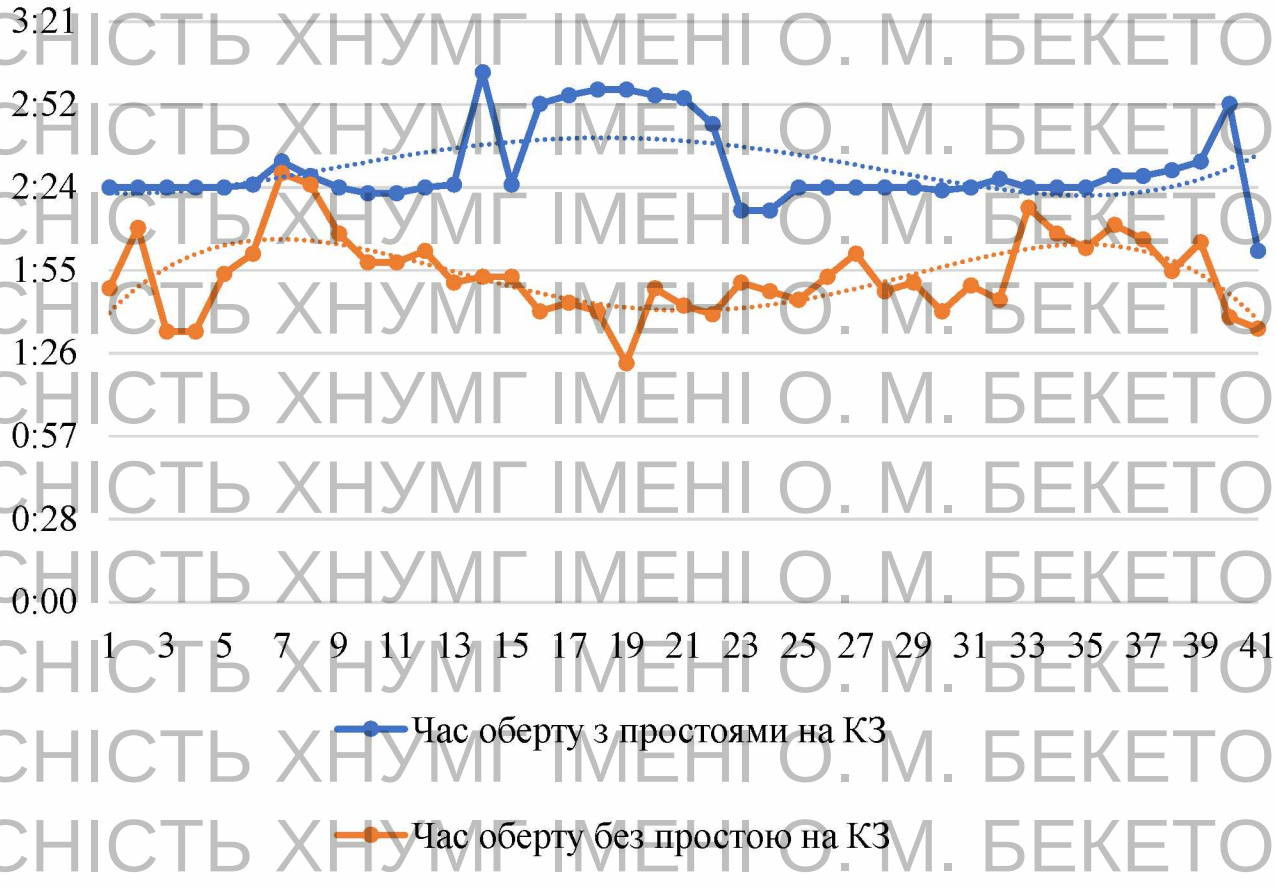


Рисунок 2.18 – Час оберту маршруту №29 зібраних GPS-моніторингом

Найскладнішим завданням автоматизації при визначення диференційованих норм часу на оберт було визначення «групи» оберту.

Для знаходження цієї групи використовував наступну формулу:

=IFS(C2<$S$7, 1, AND(C2>=$S$7, C2<$T$7), 2, AND(C2>=$T$7, C2<$S$9), 3, AND(C2>=$S$9, C2<$T$9), 4, C2>=$T$9, 5)

Обмеженнями для формули як раз є ті години «пік», котрі були наведені в таблиці 2.9.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Для кожної диференційованої норми часу оберту, кількості рейсів, часу оберту, часу оберту хв. складається власна формула в залежності від обраної кількості часових періодів/груп роботи маршруту.

=IF(N2<=4, AVERAGEIF(Таблица1[Група], M2, Таблица1[Час руху пр.напрямок.]) + AVERAGEIF(Таблица1[Група], M2, Таблица1[Час руху зв.напрямок]), ((3 * MINIFS(Таблица1[Час оборотного рейсу без КЗ], Таблица1[Група], M2)) + (2 * MAXIFS(Таблица1[Час оборотного рейсу без КЗ], Таблица1[Група], M2))) / 5)

Ця формула робить наступну річ: перевіряє кількість обертів N2: N6 котра належить до відповідної групи M2: M6 (1-5 групи), якщо їх кількість менше 4 потрібних для статистичної відповідності, то визначається просто середній час всіх 1-4 обертів. У випадку коли кількість обертів більша чи дорівнює 5, то використовується класична формула Пола Риуса для визначення диференційованих норм часу оберту формула 1.37

Час оберту визначається наступним чином:

=O2+(AN2/1440)+(AO2/1440)

Тобто для розрахованого значення диференційованих норм часу оберту додається обрана чи розрахована тривалість простою на відповідній кінцевій зупинці у відповідний проміжок роботи маршруту.

Таблиця 2.11 – Результати розрахунку диференційованих норм часу оберту для маршруту №29 Львів

Група	Кількість обертів	Норма часу оберту	Час оберту	Час оберту, хв.:
1	6	1:48:24	1:58:24	118,40
2	7	2:06:12	2:16:12	136,20
3	19	1:38:12	1:48:12	108,20
4	8	1:54:12	2:04:12	124,20
5	1	1:35:00	1:45:00	105,00

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Рисунок 2.19 – Диференційованих норм часу оберту для 5 часових проміжків роботи маршруту для маршруту №29 Львів

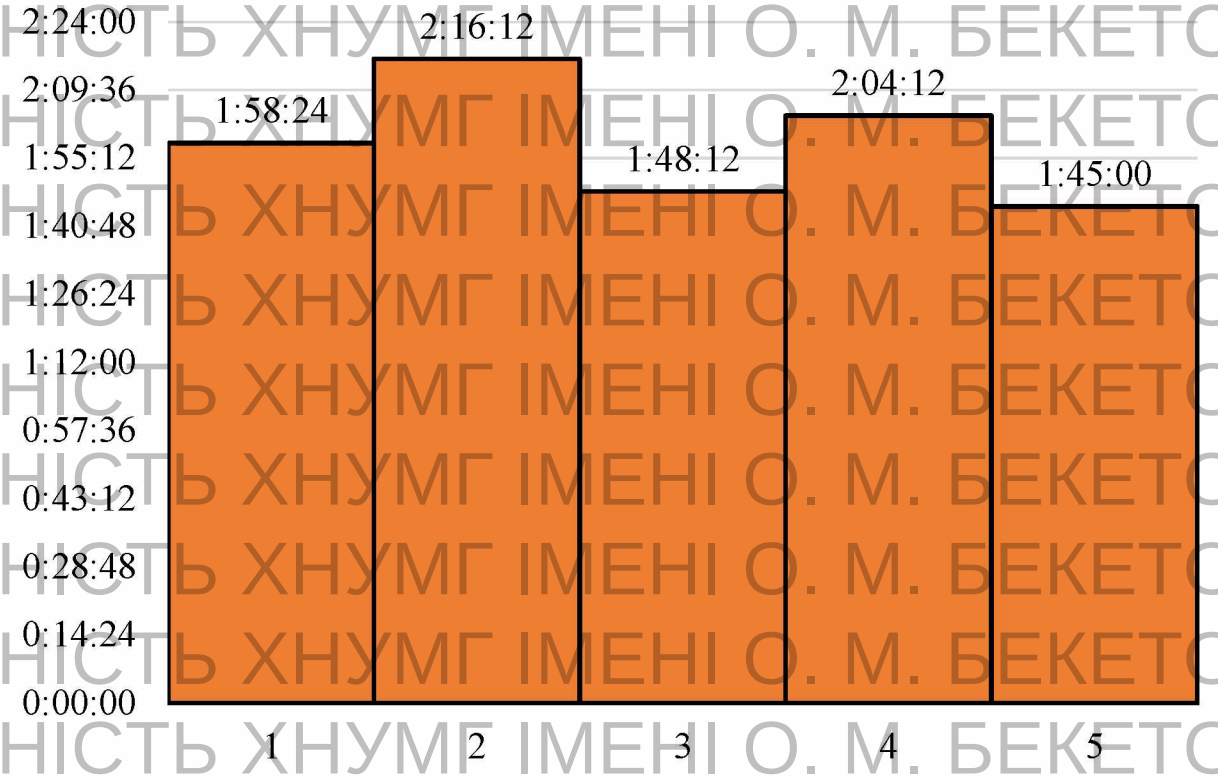


Рисунок 2.20 – Часу оберту для 5 часових проміжків роботи маршруту для маршруту №29 Львів

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

2.6 Методика розробки

Методика розробки має наступні кроки:

Розрахунок диференційовані норми часу оберту => визначення потрібної кількості автобусів => розробка графо-аналітичної таблиці => розробка стрічкового графіку => складання розкладу руху.

2.6.1 Визначення потрібної кількості автобусів

Потрібна кількість автобусів розраховується на листі (Автобуси).

Потрібна кількість автобусів визначається наступним чином:

=CEILING.MATH(((F3*(G3/60))/($AC$13*H3)),1)

В основі цієї формули лежить звичайна формула для визначення потрібної кількості автобусів на маршруті у відповідну годину доби формула 3.12.

Ця формула знаходиться в динамічній/розумній таблиці, тому автоматично протягується для кожної години роботи маршруту, що зазначаються на листі (вихідні дані).

Таблиця 2.12 – Час роботи маршруту

Час роботи маршруту №29 Львів.	
Початок роботи маршруту:	Кінець роботи маршруту:
6:00	22:00

$AC$13 – представляє собою середньозважену пасажиромісткість транспортних засобів, що є в наявності у ЛК "АТП №1". Складає 100 пасажирів.

У клітинках H3:H18 вказується «коефіцієнт використання пасажиромісткості», котрий для кожної години приймає свої значення.

У клітинах F3: F18 вказується «максимальний пасажиропотік» у відповідну роботу маршруту.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

=MAX(D3:E3)

Представляє вигляд наступний у тому випадку, коли відомі пасажиропотоки по годинам роботи маршруту в кожному напрямку руху маршруту.

«Коефіцієнт використання пасажиромісткості» та «максимальний пасажиропотік» під час дослідження маршруту №29 Львів були визначені розрахунковим чином з використанням апріорної інформації.

«Максимальний пасажиропотік» визначається в кожну години роботу маршруту окремо та представляє собою максимальний пасажиропотік за всіма перегонами в обох напрямках руху маршруту (прямий/зворотний напрямок).

Є наступні методи визначення пасажиропотоків [3, 37, 38, 39]:

1. Натурні обстеження;
2. Експертне оцінювання;
3. Розрахункові з використанням апріорної інформації;
4. Розрахункові з використанням результатів натурних обстежень;
5. Анкетні методи попиту на пасажирські перевезення.

У клітинах G3:G18 зазначається диференційований час оберту в хвилинах. Для кожної години роботи маршруту він визначається автоматично в залежності від групи, що відповідає відповідній годині роботи маршруту наступним чином:

=IF(B3<'(Вихідні дані)'!$S$7, '(Вихідні дані)'!$Q$2, IF(B3<='(Вихідні дані)'!$T$7, '(Вихідні дані)'!$Q$3, IF(B3<='(Вихідні дані)'!$S$9, '(Вихідні дані)'!$Q$4, IF(B3<='(Вихідні дані)'!$T$9, '(Вихідні дані)'!$Q$5, '(Вихідні дані)'!$Q$6))))

Ця формула автоматично вибирає для відповідної години роботи маршруту розрахований час оберту з листу (Вихідні дані) таблиці 2.10 базуючись на встановлених проміжках часів «пік» з листу (Вихідні дані) таблиці 2.9.

Далі потрібна кількість автобусів корегується з урахуванням встановлених мінімальних та максимальних інтервалів руху на маршруті за наступним алгоритмом:

=IF(L3<$P$3, FLOOR.MATH(G3/$P$3), IF(L3>$Q$3, CEILING.MATH(G3/$Q$3), K3))

У клітинах L3: L18 визначається інтервал руху для розрахованої кількості автобусів необхідний для забезпечення існуючого пасажиропотоку на маршруті.

Визначається за наступним алгоритмом:

=G3/K3

де: K3: K18 – потрібна кількість автобусів.

Клітини P3 та Q3 представляють собою встановлені обмеження на мінімальний та максимальний інтервал руху автобусів на маршруті таблиця 3.1.

2.6.2 Розробка графо-аналітичної таблиці

Одним зі складніших етапів реалізації напівавтоматизації було складання алгоритму знаходження оптимальних годин роботи випусків на маршруті з найменшою кількістю додаткових годин роботи. На листі (Граф_3) наведена найуспішніша розроблена мною модель складання графо-аналітичної таблиці. В основі пошуку оптимальної кількості годин роботи випусків на маршруті було взято принципи лінійного програмування для пошуку мінімальної суми цільової функції з обмеженнями у вигляді лінійних рівнянь.

На окремому листі (Граф_Види) наведені приклади визначення цільового значення клітинок для фіксованих годин пік (7:30-9:30 та 16:00-18:00). Мною було виявлено низку закономірностей, відповідно до яких здійснюється кольорове маркування матриці. Головна мета введення жорстких правил для кольорових зон - зменшити загальну кількість змінних алгоритму та систематизувати дані в тих випадках, коли значення комірок фізично чи законодавчо можуть приймати лише один конкретний стан.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
5																		
6		Потрібна кількість автобусів:																
7	Година роботи маршруту:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Сума:
8	Розрахункова кількість автомобіле-годин:	9	11	11	7	6	6	6	6	7	11	11	10	7	6	6	6	126 Розр
9	Потрібна кількість автомобіле-годин:	9	11	9	7	6	6	6	6	7	7	9	10	7	6	6	6	118 Пот
10	11	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
11	10	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0,937
12	9	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
13	8	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
14	7	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	
15	6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
16	5	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
17	4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
18	3	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
19	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
20	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
21		6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00	
22																		
23		9	11	11	7	6	6	6	6	7	11	11	10	7	6	6	6	
24		≥9	≥11	≥9	≥7	≥6	≥6	≥6	≥6	≥7	≥7	≥9	≥10	≥6	≥6	≥6	≥6	
25		≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	≤11	
26																		

Рисунок 2.21 – Матриця оптимізації режимів праці водіїв при 16-годинному циклі роботи міського автобусного маршруту №29 (м. Львів) з фіксованими піковими періодами (7:30-9:30 та 16:00-18:00)

Під час моделювання враховується, що розклад руху може складатися з графіків двозмінного режиму роботи та графіків з відстоєм (розривних). Відповідно до воєнного стану, в місті Львові дозволений час пересування вулицями становить з 5:00 до 00:00. У межах цих годин доцільно організовувати роботу маршрутного пасажирського транспорту, що обмежує максимальну тривалість роботи маршруту до 18 годин.

Правила формування матриці розкладу руху:

1) Для двозмінного режиму руху діють наступні правила формування матриці:

Робочий час ділиться на дві рівні частини (наприклад, по 9 годин для 18-годинного режиму). У випадках непарної кількості годин загальний час

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

поділяється у співвідношенні, де перша зміна триває $x + 1$ годин, а друга зміна триває x годин (разом $x + 1 = T_{\text{заг.}}$).

2) Зелені клітинки (завжди приймають значення «1»).

Встановлюються на перші та останні три години роботи кожної з двох змін. Таким чином утворюється 4 блоки зелених стовпчиків за схемою: 3 + (жовті) + 3 + 3+ (жовті) + 3. У середині робочого дня ці блоки об'єднуються, оскільки знаходяться на стику кінця першої та початку другої зміни. Це гарантує дотримання законодавства про працю [5], яке вимагає надання перерви кожні 4,5 години. Завдяки тому, що перша зелена частина триваліша за наступні робочі блоки, перерви водіїв не припадають на час пікового навантаження.

3) Жовті клітинки (бінарні змінні).

Заповнюють простір (стовпчики) посередині між зеленими блоками першої та другої частини робочого дня. Жовтих клітинок може бути 3 поспіль тільки для 18-годинного режиму праці, в інших випадках вони приймають значення 2 (два жовтих стовпчики). Вони виступають змінними для пошуку оптимального поєднання робочого часу (наприклад, для 9 годин це конфігурація 3+3+3, для 8 годин - 3+2+3, для 7 годин - 3+2+2).

Для режиму роботи з відстоєм (розривні графіки) алгоритм вибору кольору наступний:

1) Зелені клітинки (завжди приймають значення «1»).

В першу чергу повністю заповнюють ті стовпчики, які потребують максимальної кількості автобусів. Таких стовпчиків може бути від 1 до 3 залежно від тривалості годин пік та потреби в автобусах.

2) Сірі клітинки (бінарні змінні).

Розташовуються посередині між цими зеленими стовпчиками та вказують на простір, де можна буде організувати відстій автобусів. Головне обмеження полягає в тому, що кількість рядків сірого кольору не повинна бути більшою за 7. Це пояснюється тим, що 2 години - це мінімальна тривалість неоплачуваного відстою (які будуть обов'язково замальовуватися червоним), а інші 5 клітинок утворюють простір для маневру (умовно, 2 клітинки від першої години пік, коли

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

три обов'язково заповнені, можуть додатися до червоних клітинок, і така сама логіка діє у зворотному напрямку для другої години пік). Сума значень у сірих рядках повинна бути не менше 2, оскільки 5 годин - це максимальна тривалість відстою водіїв відповідно до закону про працю [5].

3) Червоні клітинки (завжди приймають значення «0»). Заповнюють простір за такими умовами:

- Вписуються посередині між зеленими клітинками всередині сірої зони. Рядок стовпчиків із червоних клітинок не може бути меншим за 2 (буває 3 лише у випадках 18-годинного маршруту, коли довжина сірих рядків становить 7). Відстань до зелених клітинок повинна бути однаковою - по 2 з обох боків. Введення таких жорстких червоних зон враховує експертне знання, яке базується на досвіді (стабільна наявність міжпікового спаду), та примусово відсікає для алгоритму нереалістичні гілки пошуку.
- Встановлюються над зеленими клітинками двозмінного режиму роботи (як правило, лівіше центральної частини). У випадку, коли немає стовпчиків, де потрібна кількість автобусів перевищує кількість двозмінних, червоні клітинки встановлюються за вищеописаними правилами, але висота їх заповнення відповідатиме різниці (потрібна кількість автобусів мінус кількість автобусів у двозмінному режимі).
- Червоним також заповнюються стовпчики над зеленими клітинками в кінці роботи маршруту (остання чверть). Тут заповнюються всі стовпчики, де потрібна кількість автобусів дорівнює кількості автобусів, що працюють у двозмінному режимі.

4) Усі клітинки, що залишилися, заповнюються жовтим кольором і також стають бінарними змінними.

У додатку В наведені універсальні приклади заповнення цільових клітин матриць відповідними кольорами.

Наступним кроком при розрахунку оптимального заповнення авто-годин у графо-аналітичній таблиці потрібно встановити обмеження, які будуть впливати на значення матриці.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Для переведення графо-аналітичної матриці в математичну модель пошуку рішень необхідно формалізувати систему обмежень. Введемо базові позначення: нехай $x_{ji} \in \{0,1\}$ - бінарна керована змінна, що визначає стан автобуса на лінії, де: $i -$ індекс години роботи маршруту (стовпчик матриці), а $j -$ порядковий номер випуску (рядок матриці). Значення $x_{ji} = 1$ означає роботу випуску на лінії в задану годину, а $x_{ji} = 0$ - його простій або відстій.

Обмеження встановлюються як на стовпчики (потреба в автобусах по годинах), так і на рядки матриці (тривалість робочого часу водіїв).

1) Обмеження на стовпчики (погодинна потреба в автобусах).

Під матрицею потрібної кількості годин протягується рядок котрих записана сума всіх «години» по матриці.

Обмеження на стовпчики репрезентують потрібну кількість автобусів у відповідну годину роботи маршруту. Під матрицею розраховується сумарне значення всіх годин роботи по кожному стовпчику (наприклад, у середовищі MS Excel це реалізовано формулою =SUM(B10:B20). Ця сума повинна бути більшою або дорівнювати потрібній кількості автобусів у відповідну годину:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ji} \geq b_i, \qquad (2.1)$$

де: $m -$ загальна кількість випусків;

$b_i -$ мінімально необхідна кількість автобусів.

Встановлення умови «більше або дорівнює» замість жорсткої рівності дозволяє уникнути конфліктів у моделі, адже фізично система не зможе використати більше максимальної потрібної кількості авто-годин. Зменшення жорсткості умов робить розрахунок оптимального плану значно простішим та швидшим. Потрібна кількість автобусів у відповідну годину N; автоматично підтягується з листа «Автобуси» за допомогою функції пошуку:

=INDEX(Автобуси!$M$3:$M$18, COLUMN(A5))

2) Обмеження на рядки (тривалість роботи випусків).

Наступними йдуть обмеження на рядки, які чітко регламентують тривалість роботи кожного окремого рейсу залежно від його поділу на двозмінний або розривний (з відстоєм) режим.

	Обмеження:	Перевірка.		Перевірка.	Перевірка.			
8 ≤9	9	Добре.	Розірваний випуск:	Добре.	Добре.	4	4	≤5
8 ≤9	9	Добре.	Години роботи маршруту	Добре.	Добре.	4	4	≤5
7 ≤9	9	Добре.	7:30-9:30 16:00-18:30	Добре.	Добре.	3	4	≤5
9 ≤9	9	Добре.		Добре.	Добре.	5	4	≤5
10 ≤10	10	Добре.	-Наслідок впровадження норми часу на рейс.	Добре.	Добре.	5	5	≤5
14 =14	14	Добре.	Двозмінний:	Добре.	Добре.	1	1	=1
14 =14	14	Добре.	Години роботи маршруту:	Добре.	Добре.	1	1	=1
14 =14	14	Добре.	6:00-9:30 11:30-16:00 18:30-22:00	Добре.	Добре.	1	1	=1
14 =14	14	Добре.		Помилка.	Помилка.	0	2	=1
14 =14	14	Добре.		Добре.	Добре.	1	1	=1
14 =14	14	Добре.		Добре.	Добре.	1	1	=1

Рисунок 2.22 – Обмеження на авто-години по рядкам; обмеження на тривалість роботи водія в першу та другу зміну для випусків з відстоєм; обмеження на пропуск перерви, або подвійної перерви, для двозмінних випусків

Загальне обмеження на максимальну тривалість авто-годин для одного випуску по рядку має вигляд:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ji} \leq T_j^{max}, \tag{2.2}$$

де: n – загальна тривалість роботи маршруту в годинах;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

T_j^{max} – максимально допустимий робочий час для j – го випуску.

У середовищі Excel ці обмеження на авто-години та тривалість роботи водіїв для випусків з відстоєм визначаються за наступним логічним алгоритмом:

=IF(A10<=MIN(Автобуси!$M$3:$M$18), MAX(Граф_3!$B$7:$Q$7)-2, IF(A10=MIN(Автобуси!$M$3:$M$18)+1, 10, 9))

Цей алгоритм виводить одне з трьох значень цільового ліміту залежно від номера випуску:

- Якщо номер випуску менший за мінімальну кількість потрібних автобусів на маршруті (основа маршруту), він виводить загальний час роботи маршруту мінус 2 години відпочинку (по одній годині перерви для кожної зміни). Для двозмінного режиму роботи тривалість випусків строго дорівнює розрахунковому ліміту.
- Якщо номер випуску не підпадає під ці умови, обмеження встановлюється на рівні 10 годин роботи (класифікується як випуск з відстоєм).
- Якщо номер випуску більший за мінімальну кількість автобусів плюс один, він також відноситься до випуску з відстоями, але з обмеженням на тривалість у 9 годин [5].

3) Локальні обмеження тривалості змін (профілактика перепрацювань).

Для випусків з відстоєм сума годин безперервного керування в першій та другій частині зміни контролюється окремо (в Excel це реалізовано сумами півсфер зміни: =СУММ(B10: I10) та =СУММ (J10: Q10). Відповідно до законодавства про працю водіїв [5], тривалість безперервної роботи не повинна перевищувати 5 годин:

$$\sum_{i=1}^{k} x_{ji} \le 5, \sum_{i=k+1}^{n} x_{ji} \le 5, \quad (2.3)$$

де: k – година розриву графіку (середина відстою).

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Для двозмінних випусків запроваджено обмеження для попередження подвійної перерви або її пропуску. Контролюється сумарна тривалість робочого часу у «жовтих» клітинках (змінних): =SUM(E15:F15). Математично це виражається як строга рівність, де сумарна тривалість перерви має дорівнювати рівно 1 годині [5]:

$$\sum_{i \in Y} x_{ji} = 1, \tag{2.4}$$

де: Y – множина індексів годин (жовтих комірок), виділених під перерву для j – го випуску.

Для автоматичного контролю цілісності моделі перед запуском алгоритму оптимізації запроваджено індикатори перевірки порушень:

- Перевірка загальних авто-годин: =IF((T10 <= V10), "Добре.", "Помилка.")
- Перевірка ліміту в 5 годин до перерви: =IF((AC10 <= 5), "Добре.", "Помилка.")
- Перевірка наявності рівно 1 години перерви: =IF((AC15<>1), "Помилка.", "Добре.")

Знаходження оптимального заповнення матриці за допомогою методів лінійного програмування.

Після математичного опису моделі наступним етапом є пошук оптимального рішення. Першочергово для вирішення задачі було застосовано стандартний інструментарій MS Excel - надбудову «Пошук рішення» (Solver). У параметрах інструменту було введено описану вище систему обмежень, визначено цільову клітинку (функцію) для пошуку оптимального мінімуму авто-годин та вказано масив бінарних змінних.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

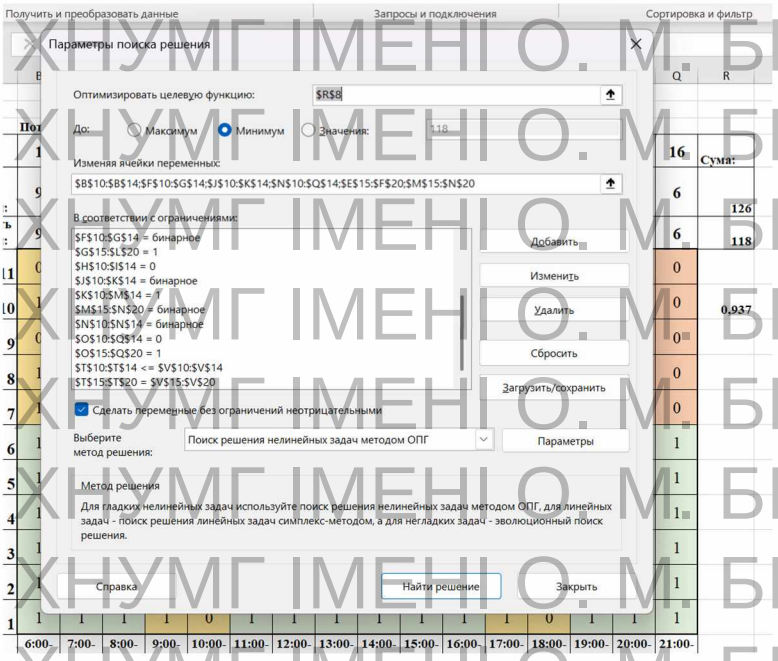
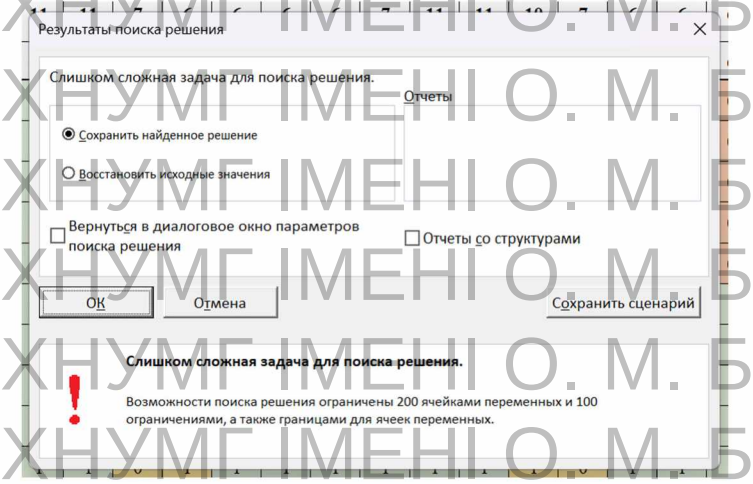


Рисунок 2.23 – Налаштування параметрів надбудови «Пошук рішення»: вибір цільової функції мінімуму, діапазону змінних та системи лінійних обмежень

Проте під час розрахунку оптимального плану виявилося, що вбудована (безкоштовна) версія «Пошуку рішення» має суворі програмні ліміти на максимальну кількість змінних (до 200) та умов. Через велику кількість стовпців, рядків та додаткових логічних умов для матриці розкладу, стандартний алгоритм не здатен опрацювати такий обсяг даних. Система видає критичну помилку щодо перевищення ліміту складності задачі.



ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Рисунок 2.24 – Повідомлення про системне обмеження інструментарію MS Excel щодо максимальної складності задачі

Для подолання цієї проблеми було прийнято рішення інтегрувати потужніший математичний апарат. В якості альтернативи було використано OpenSolver - відкрите програмне забезпечення для оптимізації лінійних та цілочислових задач [41], розміщене на платформі SourceForge [42]. Ця надбудова використовує передові рушії (наприклад, CBC) та здатна проводити обчислення з мільйонами параметрів і обмежень, повністю усуваючи недоліки стандартного інструментарію Excel.

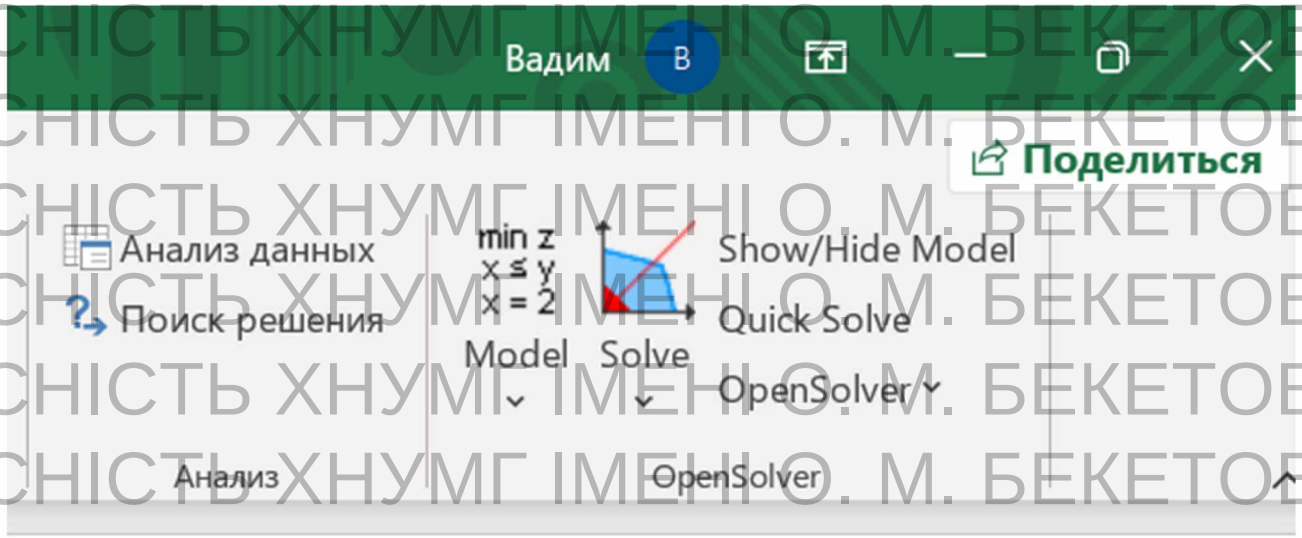


Рисунок 2.25 – Інтерфейс інтегрованої надбудови OpenSolver на панелі інструментів MS Excel

Важливою перевагою OpenSolver є його повна сумісність із базовою моделлю: надбудова автоматично підтягує та синхронізує всі обмеження, цільові функції та діапазони змінних, які вже були введені в стандартному вікні «Пошуку рішення» (і навпаки).

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

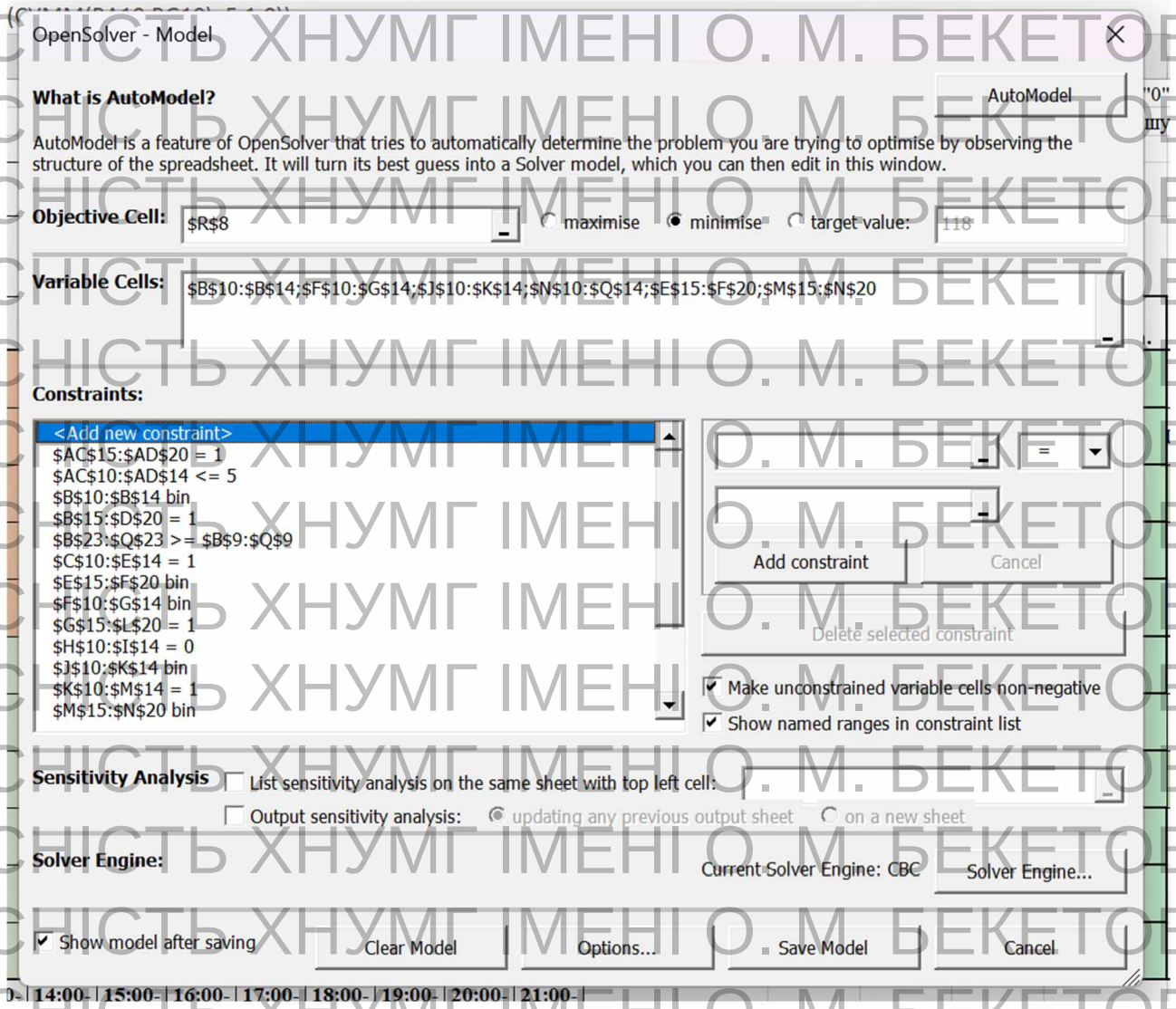


Рисунок 2.26 – Діалогове вікно OpenSolver із синхронізованою моделлю лінійного програмування

Завдяки використанню OpenSolver вдалося успішно оминути апаратні обмеження Excel та згенерувати розклад руху. У результаті алгоритм швидко та безперебійно знаходить глобальний мінімум цільової функції навіть для складних матриць.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

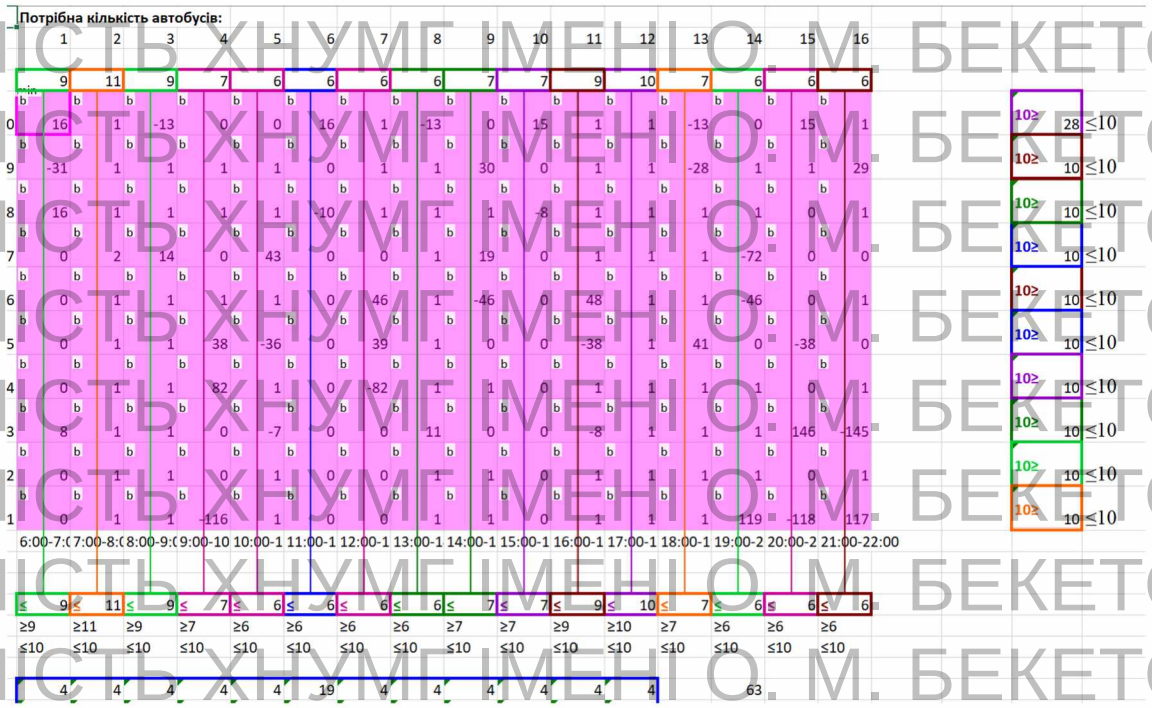


Рисунок 2.27 – Результат оптимізації розкладу руху за допомогою OpenSolver на прикладі моделі зі 160 змінними

Не додавати повторно в обмеження!

Перевірка:			**Перевірка.**			
0	0	=0	Добре.	Добре.	**Розірваний випуск:**	
0	0	=0	Добре.	Добре.	Години простою "обід":	
0	0	=0	Добре.	Добре.	12:00-14:00	16:00-18:30
0	0	=0	Добре.	Добре.		
0	0	=0	Добре.	Добре.		

2	≥ 1	Добре.	**Розірваний випуск:**
1	≥ 1	Добре.	**Години відстою:**
1	≥ 1	Добре.	9:30-16:00
2	≥ 1	Добре.	
3	≥ 1	Добре.	

Рисунок 2.28 – Перевірка червоних зон; перевірка тривалості відстою для випусків з відстоєм

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Наступним кроком є приведення розрахованої матриці роботи годин до відповідності закону та режиму праці водіїв.

Таблиця рисунок 2.20 копіюється в місце поряд на листі.

Але вже замість бінарних значень вводяться алгоритми виправлення помилок складання матриці через OpenSolver.

Для двозмінних випусків алгоритми виправлення помилок встановлюються на жовті клітини (перерви):

Для першої зміни:

=IF($AA15="Добре.", E15, 1)

=IF($AA15="Добре.", F15, 0)

Для другої зміни:

=IF($AB15="Добре.", M15, 1)

=IF($AB15="Добре.", N15, 0)

У цих формулах є перевірка на помилку. Якщо помилка є, то вони встановлюють по одній робочій годині ближче до пікових навантажень, щоб у випадку помилки більше транспортних засобів надати годинам «пік».

Всі інші зелені клітини приймають значення «1».

Для випусків з відстоєм алгоритми виправляються наступні помилки:

=IF($AK10="Добре.", H10, 0)

=IF($AL10="Добре.", O10, 0)

Перевіряє чи все добре в червоних клітинках, у випадках помилок виправляє на нулі всі клітинки.

Для сірих клітинок наступні алгоритми:

Для першої зміни

=IF(AJ17="Добре.", F10, IF(AC10<5, 1, 0))

=IF(AK10="Добре.", G10, IF(SUM(AR10:AV10)<5, 1, 0))

Для другої зміни:

=IF($AK10="Добре.", H10, 0)

=IF(AB10="Добре.", J10, IF(SUM(BA10:BG10)<5, 1, 0))

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Ці алгоритми перевіряють, щоб тривалість роботи кожної зміни випуску з відстоєм не перевищувала 5 годин поспіль. Якщо потрібно, алгоритм додає потрібні години роботи.

Проведення вище зазначених етапів приводить до графо-аналітичної таблиці зазначеної в рисунку 2.29.

Година роботи маршруту:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Розрахункова кількість автомобіле-годин:	9	11	11	8	6	6	6	6	7	11	11	10	6	6	6	6
Потрібна кількість автомобіле-годин:	9	11	9	7	6	6	6	6	7	7	9	10	7	6	6	6
11		1	1	1	1	В	В	В	В	1	1	1	1			
10	1	1	1	1	В	В	В	В	В	1	1	1	1			
9		1	1	1	В	В	В	В	В	1	1	1	1			
8	1	1	1	1	1	В	В	В	В	1	1	1	1			
7	1	1	1	1	1	В	В	В	1	1	1	1	1			
6	1	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
5	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
4	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1	1
3	1	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
2	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
1	1	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00

Рисунок 2.29 – Отримана графо-аналітична таблиця після пошуку оптимальної матриці з стандартним оформленням вигляду

Ранжування випусків та підготовка до побудови стрічкового графіка.

Для переходу від оптимізованої матриці до побудови стрічкового графіка роботи (графіка випуску автобусів на лінію) наступним кроком пропонується запровадити систему ранжування випусків. Для цього було розроблено алгоритм розрахунку індексу пріоритету для кожного випуску.

Сортування за цим індексом значно полегшує процес маршрутизації та має вагому практичну перевагу: воно дозволяє у більшості випадків формувати

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

першу стрічку (основу) стрічкового графіка у строгій числовій послідовності випусків (1, 2, 3 і т.д.), що робить розклад більш інтуїтивно зрозумілим та структурованим.

Розрахунок пріоритету спирається на чотири ключові параметри, які автоматично зчитуються з побудованої графо-аналітичної таблиці:

- Тривалість першої частини роботи випуску розраховується як сума робочих годин до перерви.

Алгоритм: =SUM(B52:F52)).

- Тривалість другої частини роботи випуску для двозмінного графіка це третій робочий блок, для графіка з відстоєм - друга частина після розриву.

Алгоритм: =SUM(I52:N52).

- Ознака початку роботи з першої години маршруту є бінарний параметр, який визначає, чи виїжджає автобус на лінію на самому початку роботи маршруту.

Алгоритм: =IF(B52="", 0, 1)

- Тривалість відстою визначається кількістю годин міжпікового простою для розривних графіків.

Алгоритм: =COUNTIF(C52:I52, "B")

На основі цих чотирьох параметрів визначається комплексний індекс пріоритету за допомогою наступної багаторівневої логічної формули:

=IF(U52=0, (20 - (S52+T52))*10 - ROW()*0.001, IF(V52>0, 500 + (S52+T52)*10 + V52 - ROW()*0.001, 1000 + (20 - (S52+T52))*100 - ROW()*0.001))

Математична модель розрахунку індексу пріоритету P_j для j – го випуску має вигляд наступної системи:

$$P_j = \begin{cases} 1000 + 100 \cdot \left(20 - \left(S_j + T_j\right)\right) - 0{,}001 \cdot j & \text{якщо } U_j = 1 \text{ та } V_j = 0 \\ 500 + 10 \cdot \left(S_j + T_j\right) + V_j - 0{,}001 \cdot j & \text{якщо } U_j = 1 \text{ та } V_j > 0, \\ 10 \cdot \left(20 - \left(S_j + T_j\right)\right) - 0{,}001 \cdot j & \text{якщо } U_j = 0 \end{cases} \quad (2.38)$$

де: P_j – комплексний індекс пріоритету для j – го випуску;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

S_j – - тривалість першої частини роботи -го випуску до перерви (в годинах);

T_j – тривалість другої частини роботи j-го випуску після перерви/відстою (в годинах);

U_j – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо j-й випуск розпочинає роботу з першої години маршруту, і 0 - якщо виїжджає пізніше;

V_j – тривалість міжпікового відстою j-го випуску (в годинах);

j – порядковий номер випуску (відповідає номеру рядка у матриці та виконує роль стабілізатора унікальності).

Формула розбиває всі випуски на три базові категорії за рівнем важливості, використовуючи вагові коефіцієнти (бази 0, 500 та 1000):

- Найвищий пріоритет (база 1000). Надається двозмінним випускам без тривалого відстою, які розпочинають роботу в першу годину ($U_j = 1$ та $V_j = 0$). Усередині цієї групи вищий бал отримують графіки з меншою сумарною тривалістю роботи, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження.
- Середній пріоритет (база 500). Надається розривним випускам з відстоєм, які також виїжджають з першої години маршруту ($U_j = 1$ та $V_j > 0$). Тут пріоритет зростає пропорційно збільшенню загального робочого часу та тривалості самого відстою.
- Найнижчий пріоритет (база 0). Присвоюється випускам, які виїжджають на лінію пізніше (не в першу годину, $U_j = 0$).

2.6.3 Особливості побудови стрічкового графіка в умовах диференційованих норм часу оберту

Складання стрічкового графіка з урахуванням диференційованих норм часу на виконання оберту є значно складнішою задачею порівняно зі стандартним плануванням, особливо коли ці норми суттєво відрізняються протягом дня. Ситуація ускладнюється, якщо час оберту становить близько двох

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

годин в умовах дефіциту рухомого складу (що є особливо актуальним у період воєнного стану). За таких умов виникають два характерні сценарії, які потребують ручного коригування графіка:

1) В першому випадку перехід від більшого часу оберту до меншого (наприклад, з години «пік» у «міжпік»).

Під час такого переходу необхідно бути вкрай обережним. Якщо при формуванні стрічкового графіка обрати занадто близький за часом вільний слот у наступній стрічці, виникає просторово-часове накладання, тобто відповідно до графіку автобус повинен буде розпочати новий оберт, хоча фізично він ще не встиг завершити попередній (через те, що ранковий рейс виконувався за довшою нормою часу).

Така тенденція спостерігатиметься завжди при переході між часовими проміжками, де попередній має довший час оберту, ніж наступний. Це стосується як переходу від ранкового «піку» до денного спаду, так і від вечірнього «піку» до пізнього вечора.

Практична рекомендація:

У проміжках часу, коли більша тривалість оберту змінюється на меншу, при розміщенні автобуса у наступній стрічці (праворуч) рекомендується ставити його на одну клітинку вище відносно того слота, який вважався б «оптимальним» при стандартному складанні графіка без диференціації норм. Це створює необхідний буфер часу для завершення попереднього розтягнутого в часі рейсу.

2) В другому випадку перехід від меншого часу оберту до більшого (наприклад, з «міжпіку» в вечірню годину «пік»).

При зворотному переході виникає протилежна ситуація - у транспортних засобів утворюється експлуатаційний запас часу. Цей надлишок можна ефективно використати за двома напрямками:

Можна оптимізувати графік руху, з'являється можливість поставити автобус у клітинку, нижчу за його позицію у сусідній стрічці ліворуч. (Варто зазначити, що на практиці така потреба виникає значно рідше, ніж необхідність зміщення «вище» у першому сценарії).

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Можна реалізувати регламентований відпочинок, тобто утворений запас часу доцільно прирівняти до перерви, якщо тривалість такого простою становить 15, 30 або більше хвилин.

Організація перерв в умовах жорстких графіків (примітка стосовно маршруту №29 Львів):

В умовах малої кількості автобусів та тривалих рейсів забезпечити водієві безперервну перерву тривалістю 45 хвилин і більше вкрай складно. Проте законодавство про працю водіїв [5] передбачає гнучкість, тобто обов'язкову перерву за 4,5 години роботи можна розбити на частини, наприклад, 15+30 хвилин. Завдяки запасам часу, що виникають при зміні диференційованих норм, диспетчер може організувати 3-4 короткі зупинки (тривалістю понад 15 хвилин), тим самим забезпечивши дотримання трудового законодавства без порушення регулярності руху.

2.7 Висновки по розділу

У другому розділі було проведено експериментальне дослідження параметрів роботи автобусного маршруту та виконано аналіз зміни часу рейсу і часу оберту залежно від часової нерівномірності транспортних потоків протягом доби.

У ході дослідження було здійснено збір та обробку фактичних даних щодо роботи автобусів на маршруті, визначено час виконання рейсів, тривалість обертів, швидкість сполучення та характер зміни експлуатаційних показників у різні періоди роботи маршруту.

Проведений аналіз показав, що параметри руху автобусів мають виражений нерівномірний характер протягом доби. Найбільші зміни спостерігаються у пікові періоди, під час яких відбувається:

- зростання інтенсивності транспортного потоку;
- зниження швидкості сполучення;
- збільшення тривалості рейсу;

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- зростання часу оберту автобусів;
- підвищення варіації часу руху.

Встановлено, що використання усередненого нормативу часу рейсу для всього періоду роботи маршруту не забезпечує достатньої точності організації руху. У години пік це призводить до накопичення запізнень та порушення регулярності руху, а у міжпікові періоди - до виникнення надлишкових простоїв рухомого складу.

У результаті дослідження було визначено характер зміни часу рейсу та часу оберту за часовими періодами доби, що дозволило сформувати диференційовані норми часу для окремих режимів роботи маршруту. Встановлено, що застосування диференційованих нормативів дозволяє більш точно враховувати фактичні умови руху та зміну транспортної ситуації протягом доби.

На основі обробки експериментальних даних було сформовано часові інтервали, для яких доцільно встановлювати окремі нормативи часу рейсу. При цьому визначено відповідні значення часу оберту та швидкості сполучення для:

- ранкового пікового періоду;
- міжпікового періоду;
- вечірнього пікового періоду.

Проведений аналіз також показав, що найбільший вплив на тривалість рейсу здійснюють:

- рівень завантаження вулично-дорожньої мережі;
- затримки на регульованих перехрестях;
- нерівномірність транспортного потоку;
- тривалість посадки та висадки пасажирів;
- виникнення локальних транспортних заторів.

У результаті виконаних досліджень було підтверджено доцільність використання диференційованих норм часу рейсу при розробці розкладу руху автобусного маршруту. Отримані результати створюють основу для формування

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

удосконаленої методики побудови розкладу руху з урахуванням часової нерівномірності транспортних потоків.

Таким чином, проведені у другому розділі дослідження дозволили отримати необхідні вихідні дані для подальшої розробки та порівняльної оцінки розкладів руху, побудованих за традиційним та диференційованим підходами, що буде виконано у третьому розділі роботи.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

РОЗДІЛ 3

АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ РОЗРОБКИ РОЗКЛАДУ РУХУ АРШРУТНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ НОРМ ЧАСУ РЕЙСУ

3.1 Розрахунок параметрів розкладу для маршруту №29

3.1.1 Розрахунок диференційованих норм часу оберту

Для розрахунку диференційованих норм часу було проведено GPS-моніторинг. Після переробки даних, була отримана таблиця фактичної тривалості рейсів на маршруті №29.

Таблиця 3.1 – Вихідні параметри для розрахунку диференційованих норм часу рейсу

Назва автобуса	Номер обертку	Кінцева_1 Виїзд	Кінцева_2 Прибуття	Кінцева_2 Виїзд	Кінцева_1 Прибуття	Час руху пр.напрямок.	Час руху зв.напрямок	Час оборотного рейсу без КЗ	Група
ВС6213ОА	1	6:00	6:44	7:12	8:17	0:44	1:05	1:49	1
ВС4360МХ	1	6:16	7:24	7:26	8:28	1:08	1:02	2:10	1
ВС3229МХ	1	6:32	7:15	7:46	8:37	0:43	0:51	1:34	1
ВС2567ЕТ	1	6:48	7:35	8:10	8:57	0:47	0:47	1:34	1
ВС6430ОІ	1	7:04	8:00	8:16	9:14	0:56	0:58	1:54	1
ВС1873ЕО	1	7:20	8:26	8:32	9:27	1:06	0:55	2:01	1
ВС6116ЕТ	1	7:36	9:05	9:08	10:08	1:29	1:00	2:29	2
ВС5362ОА	2	8:08	9:34	9:36	10:35	1:26	0:59	2:25	2
ВС6213ОА	2	8:24	9:44	9:50	10:38	1:20	0:48	2:08	2
ВС4360МХ	2	8:40	9:51	10:05	10:52	1:11	0:47	1:58	2

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Продовження табл. 3.1.

ВС3229МХ	2	8:56	10:01	10:15	11:08	1:05	0:53	1:58	2
ВС2567ЕТ	2	9:12	10:16	10:32	11:30	1:04	0:58	2:02	2
ВС6430ОІ	2	9:28	10:26	10:40	11:33	0:58	0:53	1:51	2
ВС1873ЕО	2	9:45	10:48	10:59	11:49	1:03	0:50	1:53	3
ВС6116ЕТ	2	10:09	11:03	11:16	12:15	0:54	0:59	1:53	3
ВС5362ОА	3	10:36	11:29	11:42	12:30	0:53	0:48	1:41	3
ВС6213ОА	3	10:48	11:40	12:00	12:52	0:52	0:52	1:44	3
ВС4360МХ	3	11:02	11:52	12:16	13:07	0:50	0:51	1:41	3
ВС3229МХ	3	11:18	12:05	12:48	13:24	0:47	0:36	1:23	3
ВС2567ЕТ	3	11:36	12:30	12:48	13:43	0:54	0:55	1:49	3
ВС6430ОІ	3	11:53	12:42	13:04	13:58	0:49	0:54	1:43	3
ВС6116ЕТ	3	12:34	13:24	13:30	14:20	0:50	0:50	1:40	3
ВС1873ЕО	3	12:49	13:38	13:52	14:54	0:49	1:02	1:51	3
ВС5362ОА	4	13:29	14:26	14:34	15:25	0:57	0:51	1:48	3
ВС6213ОА	4	13:44	14:35	14:56	15:50	0:51	0:54	1:45	3
ВС4360МХ	4	14:00	14:55	15:12	16:10	0:55	0:58	1:53	3
ВС3229МХ	4	14:16	15:24	15:28	16:21	1:08	0:53	2:01	3
ВС2567ЕТ	4	14:32	15:24	15:44	16:40	0:52	0:56	1:48	3
ВС6430ОІ	4	14:48	15:46	16:04	16:57	0:58	0:53	1:51	3
ВС1873ЕО	4	15:05	15:50	16:16	17:12	0:45	0:56	1:41	3
ВС6116ЕТ	4	15:20	16:14	16:34	17:30	0:54	0:56	1:50	3
ВС5362ОА	5	15:45	16:35	16:57	17:52	0:50	0:55	1:45	3
ВС6213ОА	5	16:08	17:18	17:20	18:27	1:10	1:07	2:17	4
ВС4360МХ	5	16:24	17:34	17:36	18:34	1:10	0:58	2:08	4
ВС3229МХ	5	16:40	17:43	17:50	18:50	1:03	1:00	2:03	4
ВС2567ЕТ	5	16:56	18:08	18:09	19:08	1:12	0:59	2:11	4
ВС6430ОІ	5	17:12	18:26	18:31	19:23	1:14	0:52	2:06	4
ВС1873ЕО	5	17:28	18:33	18:42	19:32	1:05	0:50	1:55	4
ВС6116ЕТ	5	17:44	18:51	18:52	19:50	1:07	0:58	2:05	4
ВС5362ОА	6	18:12	19:05	19:30	20:16	0:53	0:46	1:39	4
ВС4360МХ	6	18:48	19:36	20:00	20:47	0:48	0:47	1:35	5

Розрахунок норми часу оберту проводиться відповідно до формули 1.37

Норма часу оберту для проміжку часу від початку роботи маршруту до першої години «пік» (6:00-7:30):

$$t_{р1} = \frac{((3 \cdot 1{,}57) - (2 \cdot 2{,}12))}{5} = 1 \text{ год } 48 \text{ хв. } 24 \text{ с.};$$

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Норма часу оберту для ранкової години «пік» (7:30-9:30):

$$t_{р2} = \frac{((3 \cdot 1{,}51) - (2 \cdot 2{,}48))}{5} = 2 \text{ год } 06 \text{ хв. } 12 \text{ с.};$$

Норма часу оберту «міжпіку» (9:30-16:00):

$$t_{р3} = \frac{((3 \cdot 1{,}38) - (2 \cdot 2{,}02))}{5} = 1 \text{ год } 38 \text{ хв. } 12 \text{ с.};$$

Норма часу оберту для вечірньої години «пік» (16:00-18:30):

$$t_{р4} = \frac{((3 \cdot 1{,}65) - (2 \cdot 2{,}28))}{5} = 1 \text{ год } 54 \text{ хв. } 12 \text{ с.};$$

Норма часу оберту для проміжку часу від кінця вечірньої години пік до завершення роботи маршруту (16:00-18:30):

$$t_{р5} = 1 \text{ год } 35 \text{ хв. } 00 \text{ с.};$$

Розрахунки наведені в таблиці 2.10.

Час оберту маршрутного транспортного засобу у відповідний період роботи маршруту буде визначатися наступним чином:

$$t_{об} = t_р + t_{к.з.1} + t_{к.з.2}, \text{ год.} \qquad (3.1)$$

де: $t_р$ – норма часу оберту, год.;

$t_{к.з.1}, t_{к.з.2}$ – час простою на кінцевих зупинках, год.

Час оберту з урахуванням диференційованих норм часу для проміжку часу від початку роботи маршруту до першої години «пік» (6:00-7:30):

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$$t_{об_1} = 1{,}81 + 0{,}08(3) + 0{,}08(3) = 1{,}97 \text{ год.} = 1 \text{ год } 58 \text{ хв. } 24 \text{ с.};$$

Час оберту з урахуванням диференційованих норм часу оберту для ранкової години «пік» (7:30-9:30):

$$t_{об_2} = 2{,}1 + 0{,}08(3) + 0{,}08(3) = 2{,}27 \text{ год.} = 2 \text{ год } 16 \text{ хв. } 12 \text{ с.};$$

Час оберту з урахуванням диференційованих норм часу оберту «міжпіку» (9:30-16:00):

$$t_{об_3} = 1{,}64 + 0{,}08(3) + 0{,}08(3) = 1{,}8 \text{ год.} = 1 \text{ год } 48 \text{ хв. } 12 \text{ с};$$

Час оберту з урахуванням диференційованих норм часу оберту для вечірньої години «пік» (16:00-18:30):

$$t_{об_4} = 1{,}9 + 0{,}08(3) + 0{,}08(3) = 2{,}07 \text{ год.} = 2 \text{ год } 4 \text{ хв. } 12 \text{ с.};$$

Норма часу оберту для проміжку часу від кінця вечірньої години пік до завершення роботи маршруту (16:00-18:30):

$$t_{об_5} = 1{,}58 + 0{,}08(3) + 0{,}08(3) = 1{,}75 \text{ год.} = 1 \text{ год } 45 \text{ хв. } 00 \text{ с.};$$

Діаграми часу оберту та диференційованих норм часу оберту наведені на рисунках 2.18, 2.19.

3.1.2 Розрахунок потрібної кількості автобусів на маршруті

Потрібна кількість автобусів, що має працювати у визначені години роботи маршруту визначаються за формулою:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$$A_{i-(i+1)} = \frac{F_{i-(i+1)} \cdot t_{об}}{q_н \cdot \gamma}, \text{ од.} \quad (3.2)$$

де: $F_{i-(i+1)}$ – максимальний пасажиропотік по перегонам у відповідну годину роботи маршруту, пас;

$t_{об}$ – час оберту маршрутного транспортного засобу, год.;

$q_н$ – пасажиромісткість маршрутного транспортного засобу, пас.;

γ – коефіцієнт використання пасажиромісткості.

Таблиця 3.2 – Вихідні параметри для розрахунку потрібної кількості автобусів

Години роботи маршруту:	Максимальний пасажиропоток у годину:	Час оберту у відповідний час роботи маршруту:	Коефіцієнт використання пасажиромісткості:
6:00-7:00	346,10	118,40	0,80
7:00-8:00	432,63	118,40	0,80
8:00-9:00	346,10	136,20	0,95
9:00-10:00	216,32	136,20	0,95
10:00-11:00	129,79	108,20	0,70
11:00-12:00	86,53	108,20	0,70
12:00-13:00	129,79	108,20	0,70
13:00-14:00	216,32	108,20	0,70
14:00-15:00	259,58	108,20	0,70
15:00-16:00	259,58	108,20	0,70
16:00-17:00	346,10	108,20	0,70
17:00-18:00	389,37	124,20	0,85
18:00-19:00	229,58	124,20	0,85
19:00-20:00	173,05	105,00	0,70
20:00-21:00	129,79	105,00	0,70
21:00-22:00	86,53	105,00	0,70

$$A_{6:00-7:00} = \frac{346{,}1 \cdot \left({}^{118{,}4}/_{60}\right)}{100 \cdot 0{,}8} = 8{,}51 \approx 9 \text{ од.};$$

$$A_{7:00-8:00} = \frac{432{,}63 \cdot \left({}^{118{,}4}/_{60}\right)}{100 \cdot 0{,}8} = 10{,}64 \approx 11 \text{ од.};$$

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$$A_{8:00-9:00} = \frac{346,1 \cdot \left(136,20/60\right)}{100 \cdot 0,95} = 8,24 \approx 9 \text{ од.};$$

$$A_{9:00-10:00} = \frac{216,32 \cdot \left(136,20/60\right)}{100 \cdot 0,95} = 8,51 \approx 9 \text{ од.};$$

$$A_{10:00-11:00} = \frac{129,79 \cdot \left(118,4/60\right)}{100 \cdot 0,8} = 10,64 \approx 11 \text{ од.};$$

$$A_{11:00-12:00} = \frac{86,53 \cdot \left(118,4/60\right)}{100 \cdot 0,95} = 8,24 \approx 9 \text{ од.};$$

… … … … … … … … … …

$$A_{19:00-20:00} = \frac{173,05 \cdot \left(105/60\right)}{100 \cdot 0,95} = 4,31 \approx 5 \text{ од.};$$

$$A_{20:00-21:00} = \frac{129,79 \cdot \left(105/60\right)}{100 \cdot 0,8} = 3,23 \approx 4 \text{ од.};$$

$$A_{21:00-22:00} = \frac{86,53 \cdot \left(105/60\right)}{100 \cdot 0,95} = 2,16 \approx 3 \text{ од.};$$

Подібні розрахунки наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Потрібна кількість автобусів на маршруті

Години роботи маршруту:	Потрібна кількість автобусів, од.
6:00-7:00	9
7:00-8:00	11
8:00-9:00	9
9:00-10:00	6
10:00-11:00	4
11:00-12:00	3
12:00-13:00	4
13:00-14:00	6
14:00-15:00	7
15:00-16:00	7

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Продовження табл. 3.3.

16:00-17:00	9
17:00-18:00	10
18:00-19:00	6
19:00-20:00	5
20:00-21:00	4
21:00-22:00	3

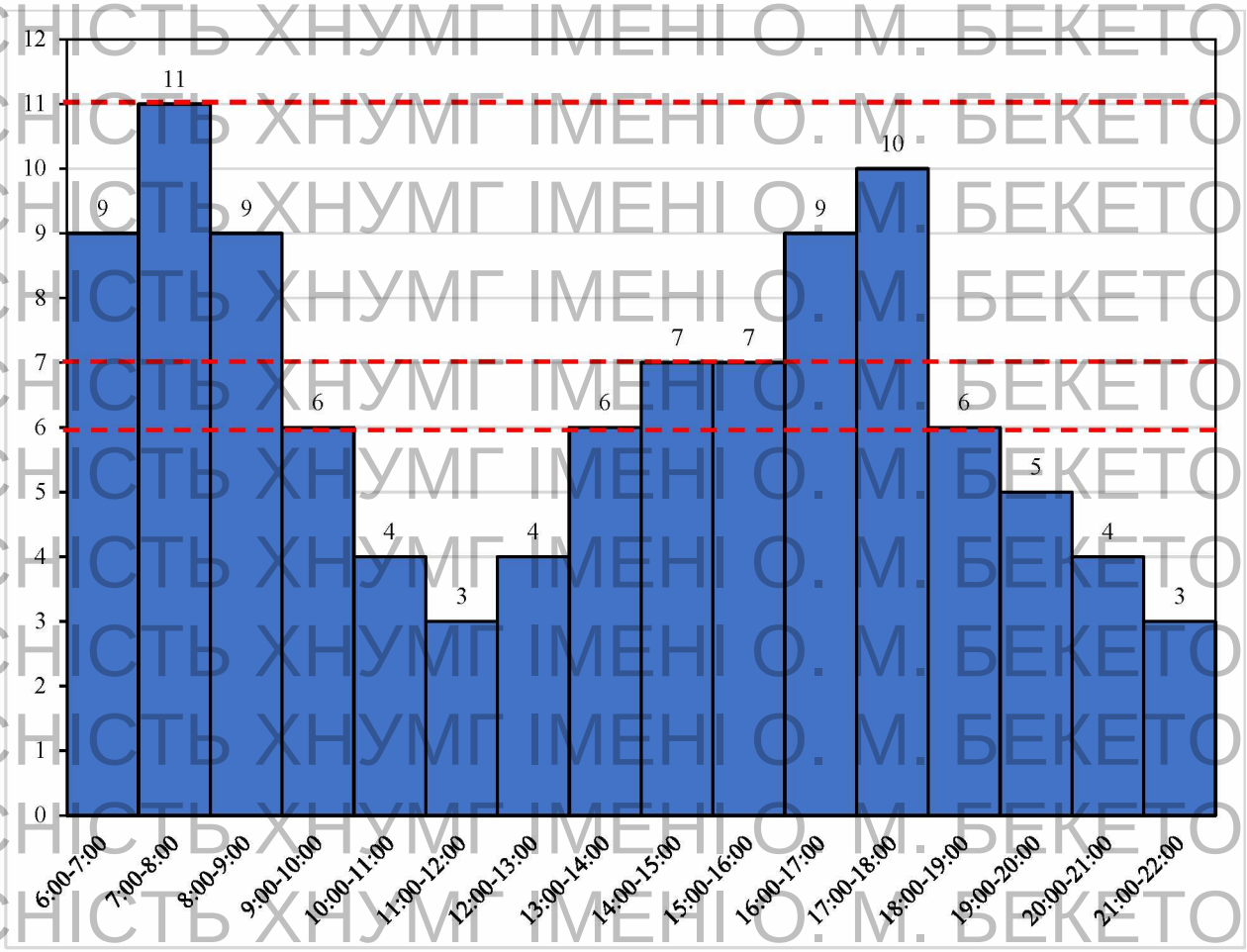


Рисунок 3.1 – Потрібна кількість автобусів

Допустима кількість автобусів на маршруті визначається від встановлених мінімальних та максимальних інтервалів руху автобусів на маршруті.

Для складання графіку руху автобусів на маршруті №29 було встановлені наступні значення інтервалів:

Мінімальний інтервал руху автобусів 5 хвилин.

Максимальний інтервал руху автобусів 20 хвилин.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

$$A_{max} = \frac{t_{об}}{I_{min}}, \text{од.} \quad (3.3)$$

$$A_{min} = \frac{t_{об}}{I_{max}}, \text{од.} \quad (3.4)$$

Допустима кількість автобусів на маршруті з інтервалом руху $I_{max} =$ 20 хв. для проміжку часу від початку роботи маршруту до першої години «пік» (6:00-7:30):

$$A_{min} = \frac{1{,}97}{20} = 6 \text{ од.};$$

Час оберту з урахуванням диференційованих норм часу оберту для ранкової години «пік» (7:30-9:30):

$$A_{min} = \frac{2{,}27}{20} = 7 \text{ од.};$$

Час оберту з урахуванням диференційованих норм часу оберту «міжпіку» (9:30-16:00):

$$A_{min} = \frac{1{,}8}{20} = 6 \text{ од.};$$

Час оберту з урахуванням диференційованих норм часу оберту для вечірньої години «пік» (16:00-18:30):

$$A_{min} = \frac{2{,}07}{20} = 7 \text{ од.};$$

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Норма часу оберту для проміжку часу від кінця вечірньої години пік до завершення роботи маршруту (16:00-18:30):

$$A_{min} = \frac{1{,}75}{20} = 6 \text{ од.};$$

Аналогічні розрахунки наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Допустима кількість автобусів на маршруті у різні години роботи маршруту

Час доби:	Мінімальний:	Максимальний:
6:00-7:30	6	23
7:30-9:30	7	27
9:30-16:00	6	21
16:00-18:30	7	24
18:30-22:00	6	21

Таблиця 3.5 – Скорегована кількість автобусів

Години роботи маршруту:	Потрібна кількість автобусів, од.
6:00-7:00	9
7:00-8:00	11
8:00-9:00	9
9:00-10:00	7
10:00-11:00	6
11:00-12:00	6
12:00-13:00	6
13:00-14:00	6
14:00-15:00	7
15:00-16:00	7
16:00-17:00	9
17:00-18:00	10
18:00-19:00	7
19:00-20:00	6
20:00-21:00	6
21:00-22:00	6

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

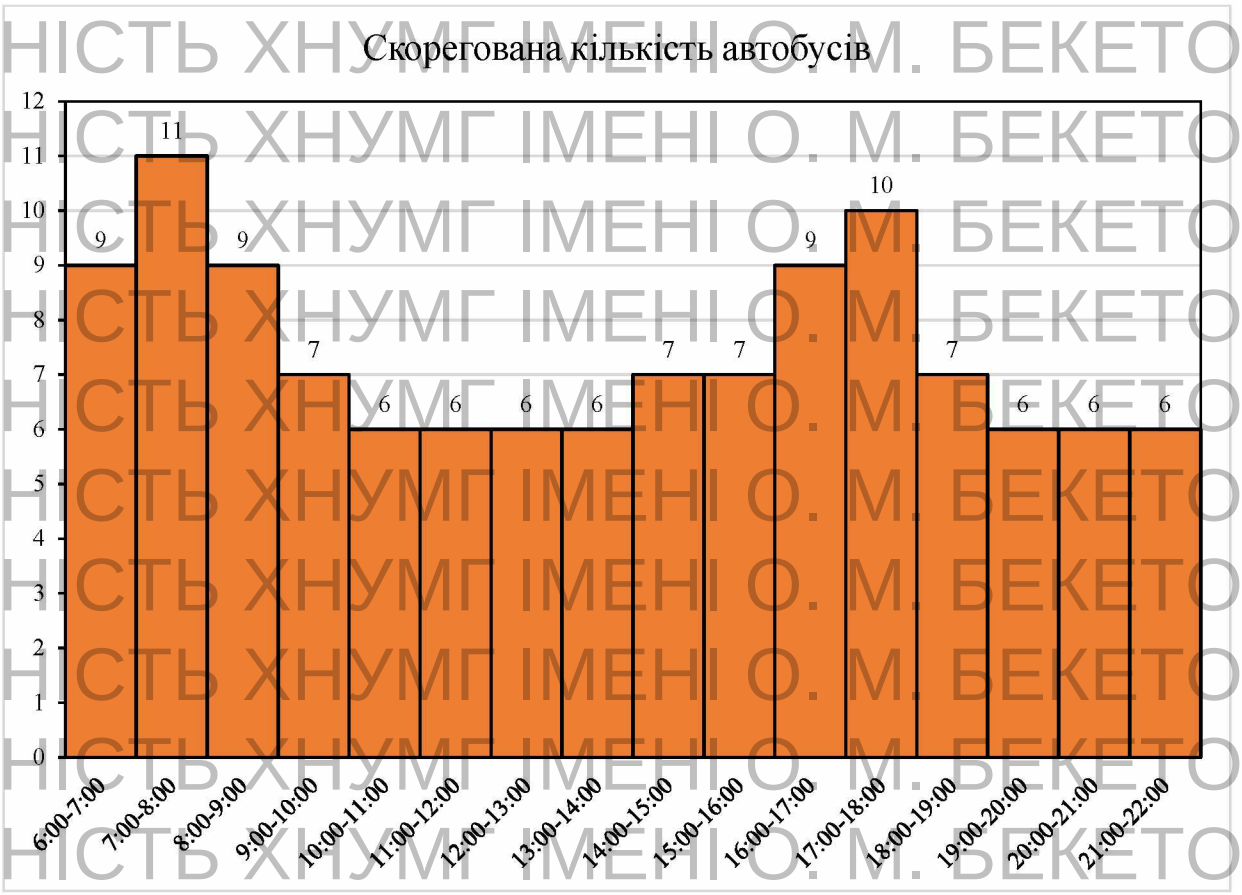


Рисунок 3.2 – потрібна кількість автобусів

3.2 Побудова графо-аналітичної таблиці погодинної роботи маршруту

Для вирішення задачі раціонального використання рухомого складу та дотримання графіків праці водіїв було застосовано інструментарій OpenSolver. Процес оптимізації базувався на суворому дотриманні нормативних вимог, визначених у пункті 1.1.1 (див. Рисунок 1.1 «Вимоги щодо режимів роботи автобусів і водіїв»). Основний акцент було зроблено на мінімізації «нульових» пробігів, дотриманні тривалості зміни та забезпеченні належного часу на відпочинок.

За результатами роботи алгоритму було сформовано стратегію розподілу виходів, яка враховує специфіку пасажиропотоку та організаційні обмеження підприємства:

- Структура змін.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Впроваджено комбінований підхід, що включає двозмінні графіки для найбільш завантажених маршрутів (забезпечують безперервність перевезень) та розривні графіки для пікових періодів (що дозволяє ефективно використовувати водіїв у години «пік» без утримання їх на лінії у міжпіковий час).

- Режим праці та відпочинку.

У кожному з графіків алгоритм автоматично інтегрував фіксовані обідні перерви відповідно до законодавчих норм. Відстої на кінцевих зупинках були розраховані таким чином, щоб забезпечити водіям необхідний час для відновлення працездатності, не порушуючи при цьому загального розкладу руху автобусів.

- Відповідність обмеженням.

Алгоритм успішно мінімізував відхилення від цільових показників, закладених на рисунку 1.1, забезпечивши баланс між інтенсивністю експлуатації техніки та дотриманням умов праці персоналу.

Узагальнені результати розрахунків, що відображають розподіл водіїв по типах змін з урахуванням часу на відпочинок, перерви та загальну тривалість наряду, наведені у рисунку 3.3.

Коефіцієнт ефективності побудови графіку розраховуємо з використанням залежності:

$$K_{\text{еф}} = \frac{\text{АГ}_{\text{пот}}}{\text{АГ}_{\text{поб}}}, \tag{3.5}$$

де: $\text{АГ}_{\text{пот}}$ – автомобіле-години потрібні за розрахунком;

$\text{АГ}_{\text{поб}}$ – автомобіле-години побудовані за графіком.

$$K_{\text{еф}} = \frac{118}{126} = 0{,}937.$$

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Година роботи маршруту:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Розрахункова кількість автомобіле-годин:	9	11	11	8	6	6	6	6	7	11	11	10	6	6	6	6
Потрібна кількість автомобіле-годин:	9	11	9	7	6	6	6	6	7	7	9	10	7	6	6	6
Випуски 11		1	Д	Д	1	В	В	В	В	Д	Д	1	1			
10		1	Д	1	В	В	В	В	В	Д	Д	1	1			
9	1	1	1	1	В	В	В	В	В	Д	1	1	1			
8	1	1	1	1	1	В	В	В	В	Д	1	1	1			
7	1	1	1	1	1	В	В	В	1	1	1	1	1			
6	1	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
5	1	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
4	1	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
3	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
2	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1
1	1	1	1	П	1	1	1	1	1	1	1	П	1	1	1	1
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00

Години роботи на маршруті

Рисунок 3.3 – Графік розподілу автобусів на маршруті за результатами оптимізації

3.3 Розробка маршрутного розкладу

Наступним кроком на базі графіку розподілу автобусів на маршруті по годинам доби розробляється стрічковий графік та розробляється розклад руху.

Час виїзду з АТП визначається наступним чином:

$$t_{\text{виїзд}} = t_{\text{відпр.КЗ1}} - t_0, \text{хв} \quad (3.6)$$

де: $t_{\text{відпр.КЗ1}}$ – час початку першого оберту;

t_0 – час виконання нульового пробігу.

Час заїзду автобусів до АТП визначається наступною формулою:

$$t_{\text{заїзд}} = t_{\text{приб.КЗ1}} + t_0, \text{ хв} \quad (3.7)$$

де: $t_{\text{приб.КЗ1}}$ – час закінчення виконання останнього оберту автобусами на маршруті.

Час виконання нульового пробігу визначається таким чином:

$$t_0 = \frac{l_0 \cdot 60}{V_{\text{т}}}, \text{ хв} \quad (3.8)$$

де: l_0 – відстань нульового пробігу, км;

$V_{\text{т}}$ – середня технічна швидкість, км/год.

Відстань від місця стоянки автобусів до початку маршруту складає 17,6 км.

Середня технічна швидкість складає 45 км/год.

$$t_0 = \frac{17{,}6 \cdot 60}{45} = 23 \text{ хв. } 28 \text{ с.}$$

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

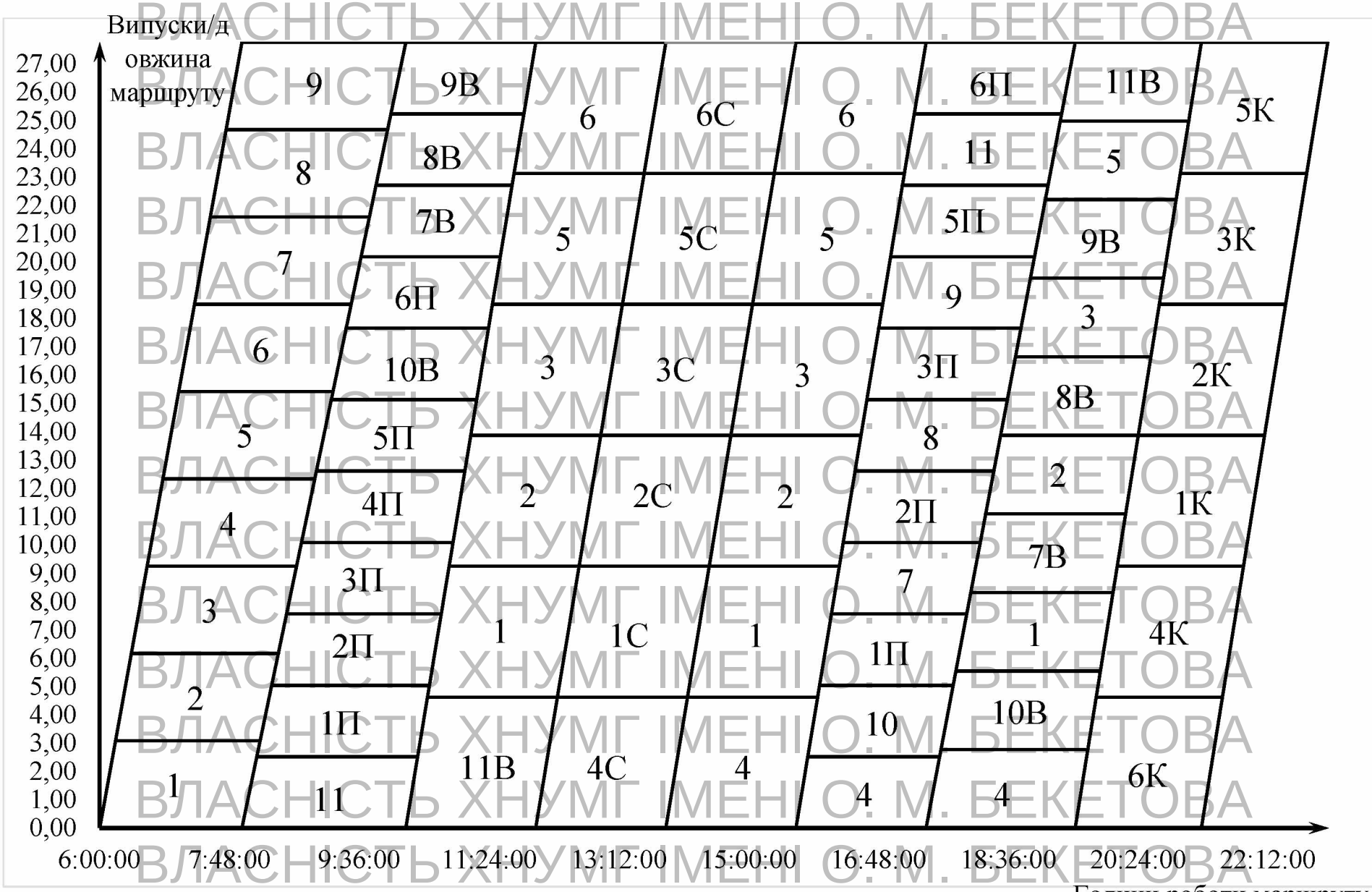


Рисунок 3.4 – Стрічковий графік з диференційованими нормами часу

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Таблиця 3.6 – Маршрутний розклад для двозмінного режиму роботи автобусів

Випуск 1		Випуск 2		Випуск 3		Випуск 4		Випуск 5		Випуск 6	
КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2
6:00:00	6:59:12	6:13:09	7:12:21	6:26:19	7:25:31	6:39:28	7:38:40	6:52:37	7:51:49	7:05:47	8:04:59
8:10:47	9:18:53	8:23:10	9:31:16	8:35:33	9:43:39	8:47:56	9:56:02	9:00:19	10:08:25	9:25:04	10:33:10
10:26:59	П	10:39:22	П	10:51:45	П	11:04:08	П	11:16:31	П	11:41:16	П
10:32:38	11:26:44	10:50:40	11:44:46	11:08:42	12:02:48	12:02:48	12:56:54	11:26:44	12:20:50	11:44:46	12:38:52
12:20:50	13:14:56	12:38:52	13:32:58	12:56:54	13:51:00	13:51:00	С	13:14:56	14:09:02	13:32:58	14:27:04
14:09:02	С	14:27:04	С	14:45:06	С	13:51:00	14:45:06	15:03:08	С	15:03:08	С
14:09:02	15:03:08	14:27:04	15:21:10	14:45:06	15:39:12	15:39:12	16:33:18	15:03:08	15:57:14	15:03:08	15:57:14
15:58:52	16:52:58	16:18:33	17:12:39	16:38:13	17:32:19	17:27:24	П	16:57:53	17:51:59	17:17:34	18:11:40
17:47:04	П	18:06:45	П	18:26:25	П	17:27:24	18:29:30	18:46:05	П	19:05:46	П
17:52:14	18:54:20	18:17:05	19:19:11	18:41:55	19:44:01	19:49:06	20:41:36	19:06:46	20:08:52	19:31:36	20:24:06
20:06:36	20:59:06	20:24:06	21:16:36	20:41:36	21:34:06	21:34:06	К	20:59:06	21:51:36	21:16:36	К
21:51:36	К	22:09:06	К	22:26:36	К			22:44:06	К		

Таблиця 3.7 – Маршрутний розклад для перерваного режиму роботи автобусів.

Випуск 7		Випуск 8		Випуск 9		Випуск 10		Випуск 11	
КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2	КЗ1	КЗ2
7:18:56	8:18:08	7:32:05	8:31:17	7:45:15	8:44:27	9:12:41	10:20:47	7:58:24	9:06:30
9:37:27	10:45:33	9:49:50	10:57:56	10:02:13	11:10:19	11:28:53	В	10:14:36	11:08:42
11:53:39	В	12:06:02	В	12:18:25	В	15:49:02	16:43:08	11:14:53	В
16:08:43	17:02:49	16:28:23	17:22:29	16:48:03	17:42:09	17:39:49	18:41:55	17:07:44	18:01:50
18:04:40	19:06:46	18:29:30	19:31:36	18:54:20	19:56:26	19:44:01	К	19:19:11	20:21:17
20:08:52	К	20:33:42	К	20:58:32	К			21:23:23	К

Таблиця 3.8 – Зведена відомість обліку роботи рухомого складу на маршруті

Рейс (випуск)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Виїзд з АТП			5:36:32	5:49:41	6:02:51	6:16:00	6:29:09	6:42:19	6:55:28	7:08:37	7:21:47	8:49:13	7:34:56
Заїзд в АТП			22:15:04	22:32:34	22:50:04	21:57:34	23:07:34	21:40:04	20:32:20	20:57:10	21:22:00	20:07:29	21:46:51
Час перерви (відстію)	1-зміна		0:15:39	0:21:18	0:26:57	2:26:12	0:20:13	0:13:30	4:25:03	4:32:21	4:39:38	4:30:09	6:02:50
	2-зміна		0:15:10	0:20:20	0:25:30	0:10:00	0:30:40	0:35:50					
Час праці на маршруті	1-зміна (до відстію)	До перерви	4:26:59	4:26:12	4:25:26	4:24:40	4:23:53	4:35:30	4:34:43	4:33:57	4:33:10	2:16:12	3:16:29
		Після перерви	3:36:24	3:36:24	3:36:24	1:48:12	3:36:24	3:18:22					
	2-зміна (після відстію)	До перерви	3:38:02	3:39:41	3:41:19	3:36:24	3:42:57	4:02:38	4:00:09	4:05:19	4:10:29	3:54:59	4:15:39
		Після перерви	3:59:22	3:52:01	3:44:41	4:06:42	3:37:20	1:45:00					
Час перебування в наряді			15:40:47	15:34:18	15:27:50	13:55:58	15:20:35	13:41:30	8:34:52	8:39:16	8:43:40	6:11:11	7:32:09
Кількість здійснених обертів, од.			8	8	8	7	8	7	4	4	4	3	4

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

3.4 Висновки до розділу

У третьому розділі було проведено практичну апробацію запропонованої методики розробки розкладу руху з урахуванням диференційованих норм часу рейсу на прикладі міського автобусного маршруту №29 у м. Львів.

Основні результати впровадження методики зводяться до наступного:

- Розрахунок динамічних параметрів.

На основі оброблених даних GPS-моніторингу було розраховано диференційовані норми часу оберту для 5 характерних часових періодів доби. Завдяки врахуванню фактичної тривалості рейсів було визначено точну погодинну потребу в рухомому складі, яка змінюється від 3 до 11 автобусів, що гарантує дотримання встановлених інтервалів руху в межах 5-20 хвилин.

- Оптимізація графіків роботи.

Побудовано графо-аналітичну таблицю погодинної роботи маршруту. Для подолання системних обмежень MS Excel щодо кількості змінних, оптимізацію матриці було успішно проведено за допомогою потужного математичного інструментарію надбудови OpenSolver. Це дозволило згенерувати раціональний план випусків, що поєднує двозмінні та розривні графіки, досягнувши високого коефіцієнта ефективності використання автомобіле-годин ($K_{\text{еф}} = 0{,}937$).

- Специфіка організації відпочинку (Таблиця 3.8).

На базі отриманої матриці було розроблено фінальний стрічковий графік та маршрутні розклади. Аналіз зведеної відомості обліку роботи рухомого складу (Таблиця 3.8) демонструє важливу експлуатаційну особливість, спричинену застосуванням диференційованих норм. Для двозмінних маршрутів час технологічної перерви (відстою) водіїв не виділяється єдиним суцільним блоком (наприклад, суворо 45 хвилин). Через постійну зміну тривалості оборотних рейсів при переходах між піковими та міжпіковими годинами, виникають нерівномірні експлуатаційні запаси часу. Внаслідок цього загальний час перерви фрагментується на коротші інтервали (наприклад, 15+30+15 або 30+15+15 хвилин і т.д.).

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

- Експлуатаційна гнучкість.

Такий поділ перерви не порушує законодавство про працю, оскільки нормативні вимоги допускають розбиття відпочинку на частини. Водночас це дозволяє диспетчеру гнучко використовувати «вікна» між змінами норм часу, уникати просторово-часового накладання («злипання») автобусів на лінії та зберігати регулярність ритму руху.

Таким чином, апробація довела життєздатність розробленої методики: перехід від статичних до диференційованих норм часу оберту дозволяє створити гнучкий, адаптивний розклад, який відповідає реальним умовам міського трафіку та забезпечує баланс між економічною ефективністю перевізника і комфортними умовами праці водіїв.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення ефективності функціонування міського пасажирського транспорту шляхом розробки розкладів руху на основі диференційованих норм часу рейсу. Аналіз існуючих підходів до організації перевезень та транспортного моделювання підтвердив, що традиційне використання статичних нормативів часу оберту в умовах динамічних змін міського трафіку є малоефективним. Це призводить до систематичних порушень регулярності руху, «накладання» автобусів на маршрутах або наднормативних простоїв на кінцевих зупинках, що обґрунтовує доцільність переходу до гнучких методів планування на основі актуальних даних телеметрії.

Практична апробація запропонованого підходу була успішно реалізована на прикладі міського автобусного маршруту №29 у місті Львові, який забезпечує важливе сполучення від селищ Винники та Лисиничі до залізничного вокзалу. Методологія експерименту базувалася на детальному аналізі фактичних масивів даних GPS-моніторингу, зібраних за допомогою платформи EasyWay протягом 16-годинного періоду з 06:00 до 22:00. Організація та обробка цих транспортних даних у середовищі Microsoft Excel із побудовою складних логічних формул, зокрема XLOOKUP та INDEX, дозволили класифікувати добу на п'ять характерних часових періодів із суттєво відмінними умовами дорожнього руху. Для кожного з цих періодів було розраховано об'єктивні диференційовані норми часу оберту рухомого складу, що дало змогу максимально адаптувати теоретичний розклад до реального стану міської транспортної мережі.

Математичне моделювання роботи рухомого складу та автоматизація розрахунку автобусних інтервалів за допомогою сучасного оптимізаційного інструментарію дозволили сформувати раціональну матрицю випусків, яка ефективно поєднує одні-, двозмінні та розривні графіки. При цьому дослідження виявило важливу експлуатаційну особливість двозмінних розкладів,

безпосередньо спричинену застосуванням динамічних норм часу, а саме: постійний перехід між періодами з різною тривалістю рейсів зумовлює фрагментацію часу технологічних перерв водіїв на окремі коротші інтервали протягом зміни. Такий підхід дозволив раціонально використовувати експлуатаційні запаси часу, уникнути просторово- часового накладання («злипання») автобусів на лінії та забезпечити високу регулярність і ритмічність перевезень. Водночас такий розподіл відпочинку водіїв повністю відповідає чинному трудовому законодавству і не порушує нормативів охорони праці.

Загалом, результати дипломного проектування повністю підтвердили наукову обґрунтованість та практичну цінність розробленої методики. Впровадження гнучких розкладів руху з диференційованими нормами часу оберту є дієвим інструментом для підвищення стабільності та надійності роботи міського пасажирського транспорту, оптимізації витрат перевізників на експлуатацію техніки та покращення загальної якості обслуговування пасажиропотоків в умовах інтенсивного міського руху.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мефьодов М. О. Підвищення надійності міських пасажирських перевезень на прикладі міського автобусного маршруту №115 (пл. Д. Бєдного – вул. В. Сухомлинського) / М. О. Мефьодов ; наук. керівник В. В. Литвин – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. – Режим доступу: https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/ed02aba8-fd72-4524-8179-88b7a61f74d8/content

2. Босняк М. Г. Пасажирські автомобільні перевезення / М. Г. Босняк. – К. : Видавничий дім «Слово», 2009. – 272 с. – Режим доступу: https://e-library.kpefk.com.ua/wp-content/uploads/2023/11/%D0%91%D0%BE%D1%81%D0%BD%D1%8F%D0%BA-%D0%9C.%D0%93.-%D0%9F%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%B6%D0%B8%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96-%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96-%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-compressed.pdf

3. Доля В. К. Пасажирські перевезення : підручник / В. К. Доля. – Харків : Вид-во «Форт», 2011. – 504 с.

4. Давідіч Ю. О. Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень / Ю. О. Давідіч. – Харків : ХНАДУ, 2009. – 48 с. – Режим доступу: https://files01.core.ac.uk/download/pdf/11327978.pdf

5. Про затвердження Положення про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 14.09.2010 № 659. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0811-10#Text

6. Нові соціальні стандарти в сфері праці та відпочинку водіїв комерційного транспорту в Україні з 2026 року. – Режим доступу:

https://mezha.net/ua/bukvy/new-social-standards-for-commercial-drivers-in-ukraine-from-july-2026/

7. Україна приймає правила ЄС щодо годин роботи водіїв та інтелектуальних тахографів. – Режим доступу: https://trans.info/en/ukraine-tachograph-452288

8. Про внесення змін до деяких нормативно-правових актів Міністерства транспорту та зв'язку України та Міністерства транспорту України... : Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 12.12.2025 № 1727. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z0098-26#Text

9. Diablo M. N. Development of passenger transport schedules / M. N. Diablo, V. R. Khalupa, O. P. Tson. – Тернопіль : ТНТУ, 2022. – Режим доступу: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/40650/2/MNPK_2022_Diablo_M_N-Development_of_passenger_transport_61.pdf

10. Григорова Т. М. Теоретичні основі організації маршрутних автобусних перевезень у приміському сполученні / Т. М. Григорова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – Режим доступу: https://radats.kname.edu.ua/images/Files/6.1.pdf

11. Шевченко Е. В. Експлуатаційні властивості транспортних засобів : конспект лекцій / Е. В. Шевченко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2008. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/6651/1/2008_%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BD.%D0%A8%D0%95%D0%92%D0%A7%D0%95%D0%9D%D0%9A%D0%9E__%D0%95%D0%92%D0%A2%D0%97%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF_%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D1%83%D0%B5%D0%BC%D1%8B%D0%B9.pdf

12. Приміські пасажирські перевезення : навч. посібник / кол. авторів. – Рівне : НУВГП, 2018. – Режим доступу: https://ep3.nuwm.edu.ua/11277/1/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%20%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%B6%D0%B8%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%20%D0%BF

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf

13. Про Правила дорожнього руху : Постанова Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 № 1306. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text

14. Беспалов Д. Коефіцієнти добового приведення інтенсивності руху транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста (на прикладі м. Києва) / Д. Беспалов. – Режим доступу: https://bespalov.me/2018/01/12/koeficijenty-dobovogo-pryvedennja-intensyvnosti-ruhu-transportnyh-potokiv-na-vulychno-dorozhnij-merezhi-mista-na-prykladi-m-kyjeva/

15. Ceder A. Public Transit Planning and Operation: Theory, Modelling and Practice / Avishai Ceder. – London : CRC Press, 2016. – 640 p.

16. Характеристика показників транспортних потоків. Інтенсивність руху. – Режим доступу: https://studfile.net/preview/383245/page:2/

17. PIARC (World Road Association). Peak hour traffic : Road Dictionary Terminology. – Режим доступу: https://www.piarc.org/en/activities/Road-Dictionary-Terminology-Road-Transport/term-sheet/84255-en-peak%20hour%20traffic.htm

18. NVF ITS Terminology 2012. – Режим доступу: https://its-terminology.com/NVF%20ITS%20Terminology%202012.pdf

19. Організація пасажирських перевезень : лекційний курс. – Режим доступу: https://e-library.kpefk.com.ua/wp-content/uploads/2023/11/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81-1-%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80.pdf

20. Вовк Ю. Я. Основи теорії транспортних процесів і систем : навчальний посібник / Ю. Я. Вовк. – Тернопіль : ТНТУ, 2021. – Режим доступу: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/35983/1/%21%21%21%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%87%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

%D0%9E%D0%A2%D0%A2%D0%9F%D0%A1_%D0%92%D0%BE%D0%B2%D0%BA_002.pdf

21. Понкратов Д. П. Теоретичні основи формування пасажиропотоків у маршрутній системі міського пасажирського транспорту : дисс. ... канд. техн. наук / Д. П. Понкратов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – Режим доступу: https://radats.kname.edu.ua/images/Files/2021/dis_Ponkratov.pdf

22. Про затвердження Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту : Постанова Кабінету Міністрів України від 18.02.1997 № 176. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-97-%D0%BF#Tex

23. Про затвердження Порядку розроблення та затвердження паспорта автобусного маршруту : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 07.05.2010 № 278. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0408-10#Tex

24. Transit Capacity and Quality of Service Manual. – 3rd ed. – Washington, D.C. : Transportation Research Board, 2013. – Режим доступу: https://www.nationalacademies.org/publications/24766

25. Швидкість як цільова функція дорожнього руху. – Режим доступу: https://studfile.net/preview/8855656/page:3/

26. Дослідження швидкості руху транспортного потоку. – Режим доступу: https://studfile.net/preview/9917302/page:7/

27. Соколова Н. А. Фактори, що впливають на швидкість транспортних потоків на дугах транспортної мережі міста в зоні зупиночних пунктів МПТ / Н. А. Соколова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/29564/1/40.pdf

28. Лобашов О. О. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху» / О. О. Лобашов, О. В. Прасоленко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2010. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/21205/1/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D1%83%D0%BC_2010_58%D0%9D.pdf

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

29. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – К. : Мінрегіон України, 2015. – Режим доступу: https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2022/08/DBN-V_2_3-4_2015.pdf

30. Абрамова Л. С. Теоретичні основи формування розподілених систем управління дорожнім рухом у містах : дисс. ... докт. техн. наук / Л. С. Абрамова. – Харків : ХНАДУ, 2019. – Режим доступу: https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Vchena_rada/VR_64_059_02/dis_Abramova.pdf

31. EasyWay Львів — автобусний маршрут №29. – Режим доступу: https://www.eway.in.ua/ua/cities/lviv/routes/303

32. General Transit Feed Specification (GTFS). – Режим доступу: https://diia.data.gov.ua/info-center/gfts

33. Створення набору даних GTFS. – Режим доступу: https://gtfs.org/getting-started/create/

34. CEN TS 15531. Service Interface for Real-time Information (SIRI). – Режим доступу: https://www.vdv.de/siri.aspx

35. General Transit Feed Specification // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/General_Transit_Feed_Specification

36. Автобусний маршрут №29 (м. Львів): розклад руху та відгуки. – Режим доступу: https://now.lviv.ua/29-marsrutka-lviv/

37. Вакуленко К. Є. Управління міським пасажирським транспортом : навч. посібник / К. Є. Вакуленко, К. В. Доля – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 257 с. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/42577/1/%282015%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%2011%D0%9D%20%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%29.pdf

38. Вдовиченко В. О. Дослідження перерозподілу пасажиропотоків на міських маршрутах пасажирського транспорту міста Кривого Рогу / В. О. Вдовиченко, Д. О. Великодний, В. М. Нікітченко. – Кривий Ріг : 2018. – С. 50–52. – Режим доступу:

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Vchena_rada/VR_64_059_02/dis__Vdovychenko.pdf

39. Палант О. Ю. Огляд методів обстеження пасажиропотоків / О. Ю. Палант. – Харків : 2014. – 37 с. – Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=binf_2014_11_25

40. ЛК "АТП №1" : офіційний сайт. – Режим доступу: https://atp1.lviv.ua/

41. About OpenSolver. – Режим доступу: https://opensolver.org/

42. OpenSolver project page. – Режим доступу: https://sourceforge.net/projects/opensolver/

43. Про затвердження Змін до Порядку розроблення та затвердження паспорта автобусного маршруту : Наказ Міністерства інфраструктури України від 04.11.2013 № 859. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2061-13#n81

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Коефіцієнти приведення транспортних засобів до легкового автомобіля [29].

Ч.ч.	Тип транспортного засобу	Коефіцієнт приведення
1	Мотоцикл без коляски та мопед	0,5
2	Мотоцикл з коляскою	0,75
3	Легковий автомобіль	1,0
4	Вантажний автомобіль вантажопідйомністю, т: - до 1	1,0
	- від 1 до 2	1,5
	- від 2 до 6	2,0
	- від 6 до 8	2,5
	- від 8 до 14	3,0
	- понад 14	3,5
5	Автопоїзд вантажопідйомністю, т: -до 12	3,5
	- від 12 до 20	4,0
	- від 20 до 30	5,0
	- понад 30	6,0
6	Колісний трактор з причепами вантажопідйомністю, т: - до 10	3,5
	- понад 10	5,0
7	Автобус	3,0
8	Довгомірний автобус, тролейбус, трамвай	5,0

Примітка 1. При проміжних значеннях вантажопідйомності транспортних засобів коефіцієнти приведення визначають інтерполяцією.

Примітка 2. Коефіцієнти приведення для спеціальних автомобілів приймають як для базових автомобілів відповідної вантажопідйомності.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Рухомий склад маршруту №29.

Номер автобуса:	Модель автобуса:	Ср. Пасажиромісткість:	Мін. Пасажиромісткість:	Макс. Пасажиромісткість:	Сайт модель:	Сайт технічні характеристики автобуса:
ВС6213ОА	МАЗ-203.069	99	93	105	https://www.alltransua.com/gallery/photo/282192	https://uak.ua/product/net-v-nalichii/gorodskoj-avtobus-maz-203069/
ВС4360МХ	МАЗ-203.069	99	93	105	https://fotobus.msk.ru/vehicle/1322923/	
ВС2920ОА	МАЗ-203.069	99	93	105	https://www.alltransua.com/gallery/photo/199150	
ВС3229МХ	МАЗ-203.069	99	93	105	https://alltransua.com/gallery/photo/372652	
ВС5362ОА	МАЗ-203.069	99	93	105	https://www.alltransua.com/gallery/photo/306480	
ВС2567ЕТ	Електрон А18501	102	102	102	https://alltransua.com/database/vehicle/18876	https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD_%D0%9018501

Таблиця Б.2 – Відстань між перегонами.

Прямий напрямок:	Відстань до наступного перегону в метрах:	**Зворотній напрямок:**	Відстань до наступного перегону в метрах:
[222281] Винники, Винниченка	454,82	[226559] Залізничний вокзал (29)	373,95
[222283] Винники, Винна Гора	318,83	[226434] Приміський вокзал	477,39
[222390] Винники, Госпіталь	786	[3749] пл. Кропивницького	634,57
[222361] Лисиничі, Полуботка	369,4	[3747] Цирк	367,05

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Продовження табл. Б.2

[222359] Лисиничі, Героїв Крут	382,12	[3751] Церква святої Анни	479,53
[14204] Лисиничі, Центр	305,4	[222216] вул. Северина Наливайка	673,6
[226663] Лисиничі, Львівська	221,9	[28515] Театр ляльок	362,62
[14206] Лисиничі, Івасюка	430,04	[2753] вул. Підвальна	455,01
[226665] Лисиничі, Квіткова	706,33	[222560] пл. Митна	406,65
[226668] Лисиничі, Коновальця	557,6	[2455] Військовий госпіталь	486,67
[174030] Глинянський Тракт	331,62	[222561] Медичний університет	381,4
[10333] Бігова	858,03	[2458] вул. Мечникова	470,33
[10335] вул. Богданівська	736,09	[222134] вул. Богдана Котика	781,33
[204332] вул. Дубова	705,76	[161610] Автостанція №6	896,49
[226441] Автостанція №6	235,79	[204331] вул. Дубова	454,52
[137767] вул. Пасічна	483,02	[10336] вул. Богданівська	757,28
[4517] вул. Богдана Котика	427,31	[10334] Бігова	346,7
[14209] вул. Мечникова	499,5	[174031] Глинянський Тракт	578,13
[167242] Медичний університет	433,45	[226667] Лисиничі, Коновальця	741,29
[2454] Військовий госпіталь	393,49	[226666] Лисиничі, Квіткова	363,31
[2453] пл. Митна	476,69	[14207] Лисиничі, Івасюка	244,34

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Продовження таблиці Б.2

[2754] вул. Підвальна	684,13	[226664] Лисиничі, Львівська	300
[3753] вул. Театральна	257,36	[14205] Лисиничі, Центр	394,61
[222235] ТЦ "Магнус"	483,22	[222360] Лисиничі, Героїв Крут	379,34
[222204] Церква святої Анни	249,52	[222362] Лисиничі, Полуботка	724,9
[222399] Захисників України	381,91	[222393] Винники, Госпіталь	404,34
[3748] Цирк	540,86	[222284] Винники, Винна Гора	425,59
[3750] пл. Кропивницького	436,39	[222281] Винники, Винниченка	(Маневр на кінцевій зупинці)
[222159] Приміський вокзал	561,18		
[226559] Залізничний вокзал (29)	(Маневр на кінцевій зупинці)		
Загальна протяжність, км:	13,71	Загальна протяжність, км:	13,36

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ДОДАТОК В

Годин роботи:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	9	11	11	7	6	6	6	6	7	11	11	10	7	6	6	6	6	6
Автобусів	9	11	9	7	6	6	6	6	7	7	9	10	7	6	6	6	6	6
10	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
9	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
7	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5:00-6:00	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00	22:00-23:00

Рисунок В.1 – Універсальні шаблони формування бінарної матриці розкладу руху із фіксованими піковими періодами (7:30-9:30 та 16:00-18:00) для загальної тривалості роботи маршруту 18 годин.

Годин роботи:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
9	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
7	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
6	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5:00-6:00	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00

Рисунок В.2 – Універсальні шаблони формування бінарної матриці розкладу руху із фіксованими піковими періодами (7:30-9:30 та 16:00-18:00) для загальної тривалості роботи маршруту 17 годин.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

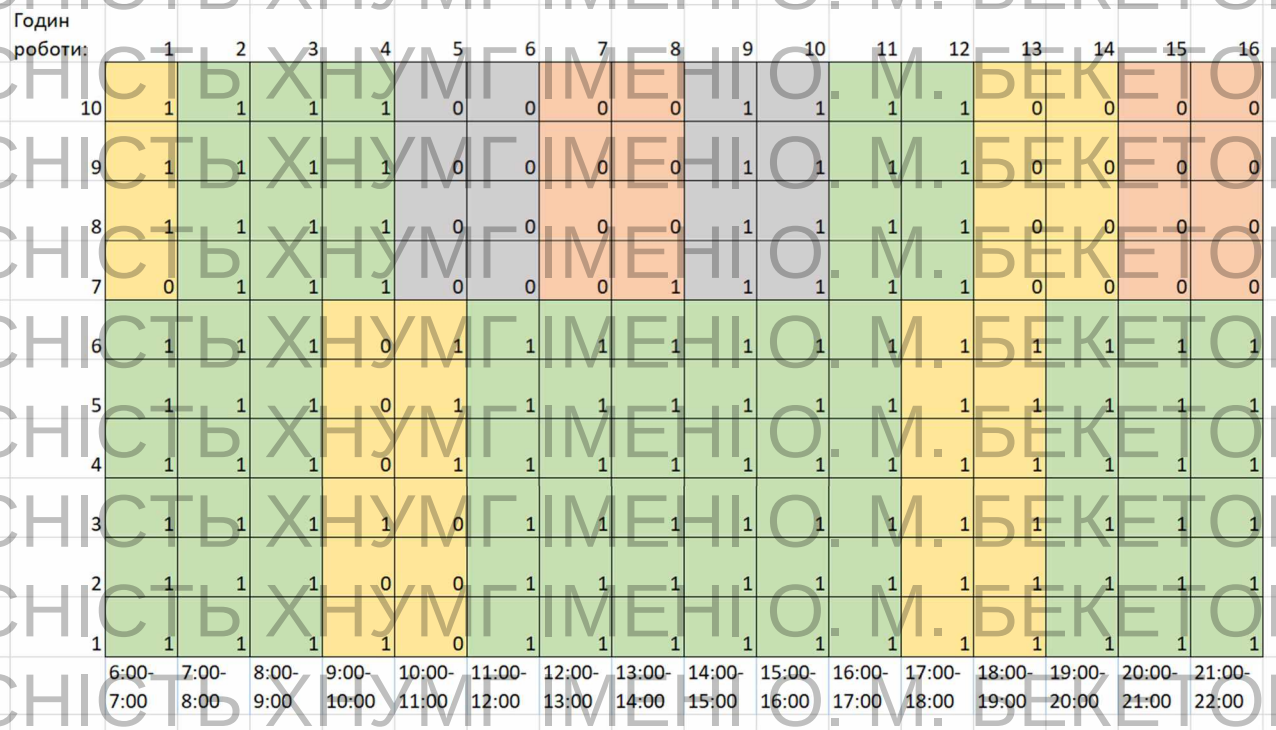


Рисунок В.3 – Універсальні шаблони формування бінарної матриці розкладу руху із фіксованими піковими періодами (7:30-9:30 та 16:00-18:00) для загальної тривалості роботи маршруту 16 годин.

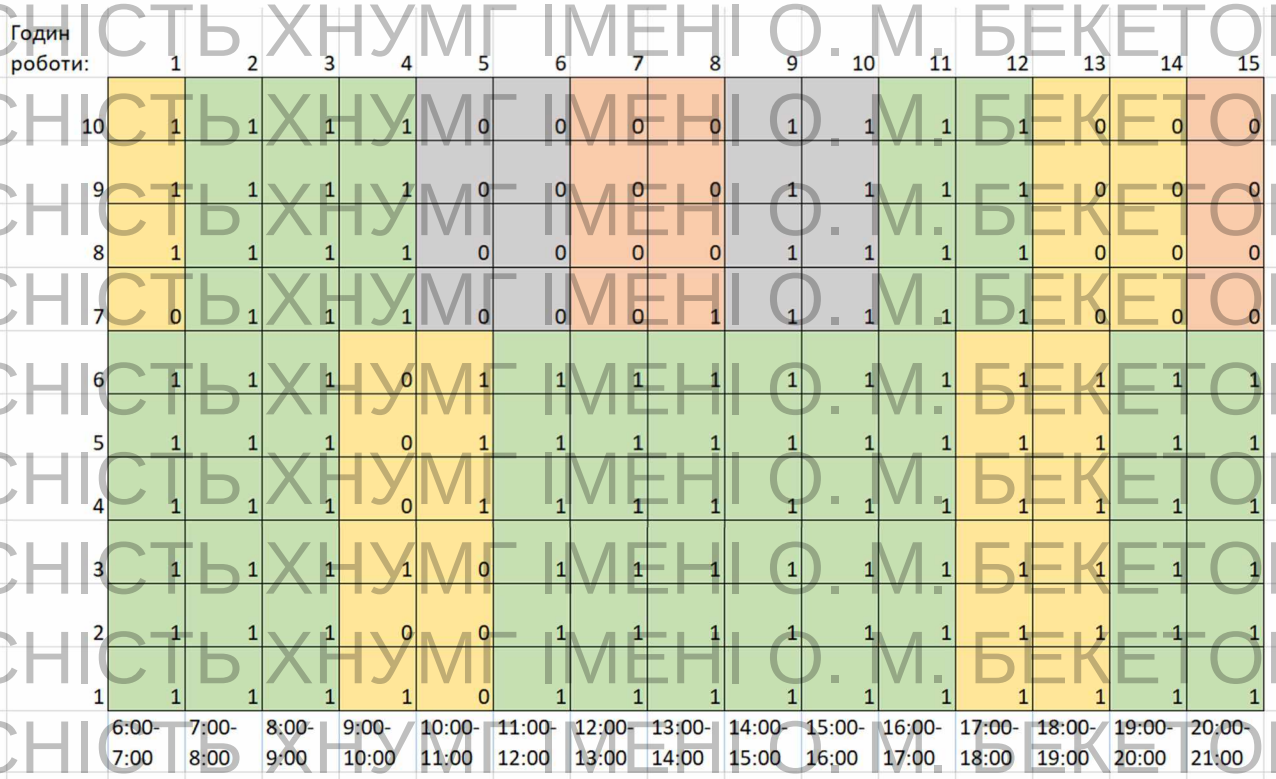


Рисунок В.4 – Універсальні шаблони формування бінарної матриці розкладу руху із фіксованими піковими періодами (7:30-9:30 та 16:00-18:00) для загальної тривалості роботи маршруту 15 годин.

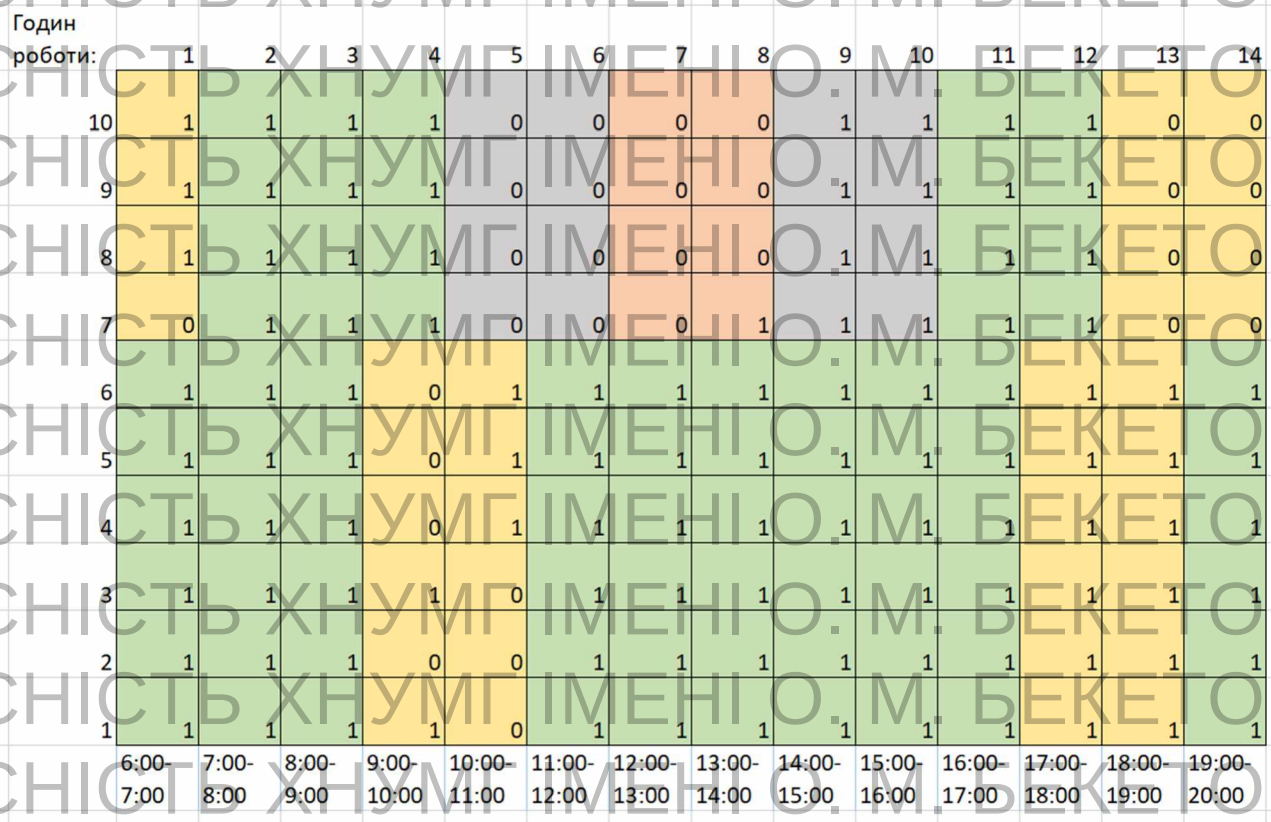


Рисунок В.5 – Універсальні шаблони формування бінарної матриці розкладу руху із фіксованими піковими періодами (7:30-9:30 та 16:00-18:00) для загальної тривалості роботи маршруту 14 годин.

ВЛАСНІСТЬ ХНУМГ ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА