

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний інститут, транспортний факультет
(повне найменування інституту, назва факультету)

Транспортних технологій
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

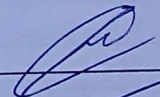
до магістерської роботи

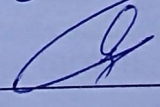
магістр
(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

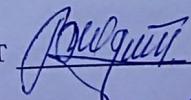
на тему:

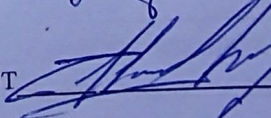
ДОСПІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ
ПАСАЖИРІВ НА МІСЬКОМУ АВТОБУСНОМУ МАРШРУТІ
МЕТОДОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Виконав: студент 6 курсу, групи Т-3124
спеціальності (напряму підготовки)
245.03 „Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)“
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

 О.О. Головинський
(прізвище та ініціали)

Керівник  Г.П. Бабичин
(прізвище та ініціали)

Консультант  В.П. Журав
(прізвище та ініціали)

Рецензент  А.Ю. Сосик
(прізвище та ініціали)

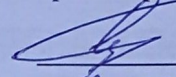
м. Запоріжжя
2017 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет машинобудівний інститут, транспортний факультет
 Кафедра транспортних технологій
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
 Спеціальність 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
 (код і назва)
 Напрямок підготовки 27 Транспорт
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
 транспортних технологій

 проф. Г.Ф. Бабушкін
 12. 10 2017 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Голорієв Олександр Олександрович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження параметрів обслуговування пасажирів на міському автобусному маршруті методом імітаційного моделювання

керівник роботи к.т.н., доцент Фурн В.П.
 (прізвище, ім'я по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 12 жовтня 2017 року № 396

2. Строк подання студентом роботи 8 тижнів 2017 року.

3. Вихідні дані до роботи 1. Транспортний міський автобусний маршрут з постійною користуванням №47, вул. Загінжівська-Розенко-вул. Загінжівська; 2. Розклад обслуговування пасажирів потягів на маршруті №47; 3. Інформація техніко-експлуатаційних показників роботи автобусів на маршруті №47.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 2. Моделювання процесів обслуговування пасажирів потягів на міському транспорті; 2.1. Вибір і обґрунтування інструменту моделювання; 2.2. Побудова моделі маршруту міського транспорту; 2.3. Зроблення аспарахментів на моделі; 2.4. Аналіз результатів моделювання

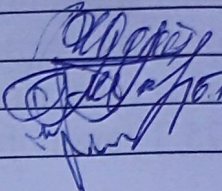
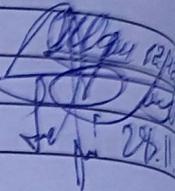
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- Система показників якості транспортних послуг на міському транспорті;

- Структура імітаційної моделі міського автобусного маршруту №47 в середовищі ANSYS; - модель транспортної зупинки маршруту; - модель алгоритму реалізації властивостей кіпцевої зупинки маршруту.

- процес моделювання міського автобусного маршруту та його впровадження; - математичне моделювання пасажиропотоків методом гармонічного аналізу; - вивід регулярного руху автобусів на середню збільшену кількість пасажирів; - техніко-експлуатаційні показники

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Розділ 1, 2	Харченко Т.В., доц.		
Розділ 3	Харченко Т.В., ст. викл.		
Розділ 4	Лазуткін М.І., доцент		

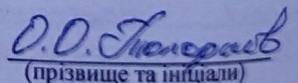
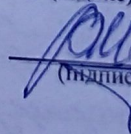
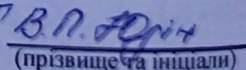
7. Дата видачі завдання 2 жовтня 2017 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Захист звітів зі стажування	24.09 - 04.10	
2	Аналітична частина	05.10 - 13.10	
3	Проектна частина	16.10 - 03.11	
4	Економічна частина	06.11 - 17.11	
5	Охорона праці	20.11 - 01.12	
6	Оформлення МР	04.12 - 08.12	
7	Отримання рецензій	11.12 - 14.12	
8	Захист магістерських робіт	15.12. 2017	

Студент

Керівник роботи


(підпис)
(прізвище та ініціали)
(підпис)
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 108 с., 21 табл., 16 рис., 19 джерел.

Об'єкт дослідження — система міського громадського транспорту, а саме транспортний процес обслуговування пасажирів на міському автобусному маршруті загального користування.

Мета роботи — аналіз факторів, що впливають на якість обслуговування пасажирів на міському автобусному маршруті загального користування та розробка моделей процесів обслуговування пасажиропотоків у міській транспортній системі.

Методи дослідження — аналітичні, математичне моделювання, імітаційне моделювання.

Пасажирський транспорт є невід'ємною частиною сучасного міста. Він забезпечує потреби населення міст у пересуваннях. Час, що витрачається пасажиром на поїздку, витрачається непродуктивно. З цього витікає основна задача міського пасажирського транспорту — забезпечення потреб пасажирів у пересуваннях за найкоротшим шляхом з мінімальними витратами часу за прийнятної ціни на проїзд.

Магістерська робота присвячена моделюванню процесів обслуговування пасажирів міським транспортом загального користування на постійних маршрутах з застосуванням математичного апарату та методу імітаційного моделювання систем, що в умовах досліджуваної системи є найбільш ефективним методом дослідження транспортних систем пасажирського транспорту.

СИСТЕМА МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ, ІЗОЛЬОВАНИЙ МАРШРУТ,
ПАСАЖИРСЬКІ КОРЕСПОНДЕНЦІЇ, ЯКІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ЗМІСТ

Завдання на магістерську роботу	2
Реферат	4
Вступ	7
1 Аналіз методів і моделей планування і управління транспортними системами міст	9
1.1 Транспортна система міста як об'єкт управління	9
1.2 Критерії ефективності функціонування системи міського пасажирського транспорту	13
1.3 Якість обслуговування пасажирів та її складові	17
1.4 Моделювання та його застосування у транспортних системах	25
1.4.1 Моделі оцінки часу очікування пасажиром посадки на зупинці ..	26
1.4.2 Моделі маршрутів міського транспорту	32
1.5 Висновки та постановка задач	37
2 Моделювання процесів обслуговування пасажиропотоків на міському транспорті	38
2.1 Вибір і обґрунтування інструменту моделювання	38
2.2 Розробка моделі маршруту міського транспорту	42
2.2.1 Модель проміжного зупиночного пункту	43
2.2.2 Модель кінцевих зупиночних пунктів	51
2.2.3 Модель ізольованого маршруту	54
2.3 Проведення експериментів на моделі	57
2.3.1 Математичне моделювання пасажиропотоків	57
2.3.2 Математичне моделювання пасажирських кореспонденцій	65
2.3.3 Імітаційні експерименти з моделлю зупинки ізольованого маршруту	70
2.4 Аналіз результатів моделювання	74
2.4.1 Вплив регулярності руху транспортних засобів	74
2.4.2 Вплив нерівномірності надходження вільних пасажиро-місць ...	76

2.4.3 Вплив нерівномірності накопичення пасажирів на зупинці	78
3 Економічна частина	79
3.1 Розрахунок собівартості перевезень	79
3.2 Розрахунок тарифу на проїзд пасажирів	87
3.3 Розрахунок економічного ефекту від підвищення регулярності руху автобусів на маршруті	88
3.3.1 Розрахунок додаткових капітальних вкладень	89
3.3.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат	89
3.3.3 Розрахунок річного економічного ефекту	90
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	93
4.1 Аналіз потенційних небезпек	93
4.2 Заходи по забезпеченню безпеки	95
4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії і гігієни праці	97
4.4 Заходи з пожежної безпеки	100
4.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	101
Висновки	105
Перелік посилань	106

ВСТУП

Розвиток міст та обсягів виробництва неминуче призводять до інтенсифікації обмінних процесів, що забезпечують життєдіяльність міського організму. Транспортна проблема з року в рік постає все гостріше, оскільки зростання вимог пасажирів у перевезеннях протікає в умовах відносної стабільності вулично-дорожньої, транспортної та маршрутної мережі та практично незмінної технології транспортного обслуговування, тобто випереджає можливості росту міської транспортної системи. Через це задачі підвищення ефективності та якості задоволення вимог населення у пересуваннях та транспортному обслуговуванні завжди будуть гострими та актуальними.

Складність цих задач полягає у багатофункціональності та багаторівневої транспортних систем, децентралізації планування та управління, динамічного та імовірнісного характеру процесів, що протікають у них, активністю об'єкта управління, яка вимагає врахування низки психологічних та соціально-економічних факторів. Специфікою вирішуваних задач є те, що ними займаються відносно незалежно один від одного спеціалісти з організації та регулювання дорожнього руху, планування вантажних та пасажирських перевезень, проектування доріг та містобудування і архітектури. Це призводить до утворення низки незалежних напрямків транспортної науки, які можуть бути ізолюваними лише доти, доки задачі різних функціональних підсистем можуть вирішуватися незалежно.

У теперішній час оптимальне рішення будь-якої задачі планування транспортних процесів можливе тільки на підставі врахування всіх взаємопов'язаних факторів, що визначають характеристики функціонування транспортної системи в цілому.

Сучасний погляд на транспортну проблему передбачає комплексне рішення задачі оптимального використання ресурсів (люди, дорожня мережа та

транспортні засоби) на базі широкого використання математичних методів, моделей та обчислювальної техніки. Такий підхід передбачає розв’язок низки принципових питань:

- опис транспортних процесів з єдиної загальносистемної позиції, на підставі якої можливе узагальнення застосованих математичних методів рішення різних задач;

- створення комплексу методів і моделей для опису та оптимізації транспортних систем (потреба у пересуваннях, формування потоків у мережах, поїздки та пересування) з обґрунтуванням необхідного ступеня деталізації опису;

- рішення проблеми інформаційного забезпечення моделей з обґрунтуванням необхідної точності обсягів та способів отримання вихідної інформації.

Дана магістерська робота присвячена розробці методів і моделей частинних процесів, що протікають у міській транспортній системі, а саме у підсистемі міського пасажирського транспорту загального користування на постійних маршрутах з метою отримання розрахункових даних про стан та якість функціонування транспортної системи та подальшої її оптимізації.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ПЛАНУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ МІСТ

1.1 Транспортна система міста як об'єкт управління

Теорія управління транспортом — багатогранна наука, яка включає в себе питання управління на різних рівнях, питання економічного аналізу господарської діяльності, перспективного і поточного планування, оперативного управління окремими підсистемами транспорту та всією системою в цілому, питання організації і управління, інформації та автоматизації, техніки і кадрів управління, та, нарешті, правові питання управління транспортом [1].

Системи міського пасажирського транспорту (МПТ) утворюються та діють у різних умовах, що залежать як від навколишнього середовища (рельєф міста, його забудова, клімат, тощо) так і від чисельності населення міста. Оцінюючи різні варіанти системи організації міського пасажирського транспорту беруть до уваги низку факторів, та, зваживши їх у різних масштабах, визначають рівень їх ефективності та, відповідно, корисність з точки зору їх функціонування.

До рішення проблеми вибору раціональних методів та засобів управління МПТ зазвичай підходять з позицій теорії систем, системного аналізу та дослідження операцій. Припустимо, що для заданої досліджуваної системи МПТ маємо

$U = \{U_i, i = \overline{1, N}\}$ — множина методів рішення задач управління МПТ;

$S = \{S_i, i = \overline{1, N}\}$ — множина витрат, які відповідають множині U ;

$\delta = \{\delta_i, i = \overline{1, N}\}$ — множина показників доцільності використання методів множини U для досліджуваної системи МПТ;

$R = \{R_i, i = \overline{1, N}\}$ — максимально можливі величини виділених ресурсів на розвиток системи управління МПТ.

Вибір раціональної системи управління МПТ зводиться до рішення такої задачі.

З множини $U = \{U_i, i = \overline{1, N}\}$ необхідно знайти підмножину $\Delta U \in U$, яка характеризується підмножинами $\Delta \delta \in \delta$ та $\Delta S \in S$, які максимізують функціонал

$$C = f_1(\Delta U, \Delta \delta) \Rightarrow \max, \quad (1.1)$$

при наявності обмеження вигляду

$$R \geq f_2(\Delta U, \Delta S). \quad (1.2)$$

Такий підхід до вибору задач управління МПТ і методів їх рішення висуває низку вимог до дослідження, зокрема, виникає необхідність опису цільової функції (1.1) та визначення множини задач управління МПТ та методів їх рішення — U_0 , що спряжене з аналізом процесів функціонування транспортних систем.

Транспортна система міста включає в себе в якості елементів: транспортну мережу з відповідним облаштуванням; рухомий склад, що забезпечує перевезення пасажирів; мешканців міста, які є клієнтами транспортної системи чи учасниками руху [2].

Транспортна мережа міста характеризується своїми геометричними розмірами, топологією, засобами організації і регулювання руху. Формально, мережа міста може бути представлена у вигляді зв'язного змішаного графу, вершинами якого є перехрестя, житлові райони та місця прикладення праці (підприємства, установи, заклади освіти тощо), а дугами (ребрами) — відрізки шляхів, що з'єднують кожну пару вершин. Транспортна мережа призначена для реалізації автомобільного, пасажирського та пішохідного сполучення між всіма кореспондуючими районами міста.

У зв'язку з великою різноманітністю та складністю транспортних процесів, які відбуваються у сучасних містах, окремі ланки транспортної мережі спеціалізуються за пропусками потоків певного виду, що дозволяє підвищити рівень транспортного обслуговування. Таким чином, можна вважати, що транспортна

мережа включає в себе субмережі, які призначені для пересувань різних видів транспортних засобів.

Транспортна мережа має різні види транспортних засобів, які мають різне функціональне призначення у системі, доповнюють та частково замінюють одне одного. Таким чином, ефективне виконання перевезень пасажирів передбачає існування вельми визначеної структури парку транспортних засобів.

Основним елементом транспортної системи є люди, які виступають у якості пішоходів і пасажирів. Організація транспортних процесів передбачає можливість руху у системі за рахунок встановлення зв'язку між всіма елементами, визначення правил та умов взаємодії елементів між собою при їх функціонуванні. Форма організації транспортних процесів визначається її змістом: технологією і роллю тих чи інших процесів у транспортній системі.

У спрощеному вигляді структура системи міського пасажирського транспорту може бути представлена декомпозицією трьох підсистем, що впливають на її стани: «місто», «мешканці міста» та «транспорт». Інформаційні зв'язки між цими підсистемами наведені на рисунку 1.1. Тут R — пасажиропотоки, M — маршрутна мережа, A — режими роботи підсистеми «місто», Γ — планування та забудова міста, H — показник задоволення населення міста пасажирським транспортом, P — стан та показники господарської діяльності транспортних підприємств.

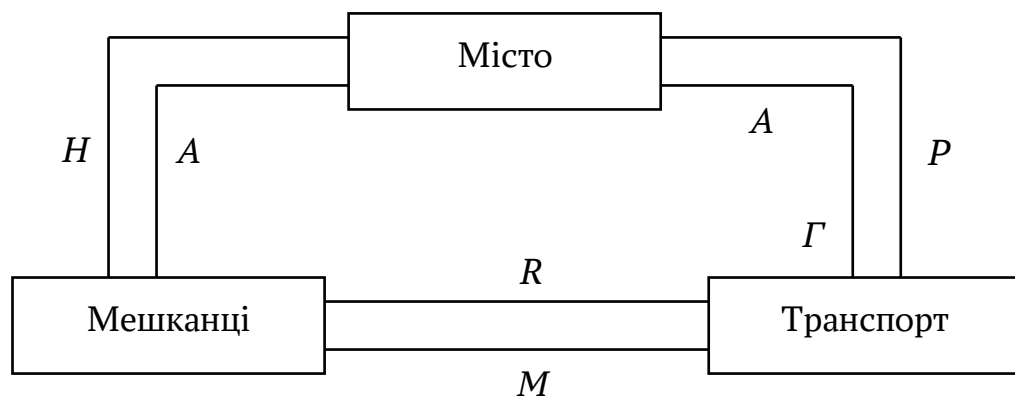


Рисунок 1.1 — Схема інформаційної взаємодії підсистем міського пасажирського транспорту

Перелік вимог, що висувуються підсистемами транспортної системи міста одна до одної наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Вимоги підсистем у системі міського пасажирського транспорту

Підсистема	Населення	Транспорт	Місто
Населення	—	Попит на транспортне обслуговування: – мінімальні витрати часу на пішохідні підходи; – мінімальні витрати часу на очікування; – мінімальні витрати часу та коштів на пересування; – комфортабельність поїздки; – доступність транспортної системи; – мінімальна пересадочність.	Вимоги щодо розташування місць прикладення праці, культурно-побутових закладів відносно місця проживання.
Транспорт	Задоволення попиту населення на транспортне обслуговування	—	Вимоги щодо розміщення парків, кінцевих зупинок, вимоги неперервності і регулярності руху, оптимальності транспортної мережі.
Місто	Задоволення вимог населення до розташування місць прикладення праці, культурно-побутових закладів та місць проживання.	Оптимізація транспортної мережі міста, зменшення впливу транспорту на навколишнє середовище.	—

Місто представляє собою складну багатоелементну та неоднорідну динамічну систему. У міській системі зазвичай виділяють п'ять підсистем: промисловість, обслуговування, житловий фонд, транспорт, населення. Основна вимога міста до роботи його транспортної системи забезпечення — безперебійного обслуговування міського населення у перевезеннях.

Підсистема «мешканці міста» як споживач транспортних послуг накладає на транспортну систему певних вимог, основні з яких — задоволення попиту на транспортне обслуговування. Воно полягає у забезпеченні певної комфортності поїздок та скорочення часу на пересування (недалекі підходи до зупинок, невеликий час очікування транспорту, зручність та швидкість пересадки з одного маршруту на інший тощо). Інформаційним входом цієї підсистеми є маршрутна мережа міста, виходом — потенційно можливі потоки пасажирів за цими маршрутами.

Підсистема «транспорт» включає в себе транспортні підприємства автомобільного та електричного транспорту. Основна задача функціонування транспортних підприємств — економічно ефективна діяльність по повному забезпеченню потреб населення у перевезеннях.

1.2 Критерії ефективності функціонування системи міського пасажирського транспорту

Система міського пасажирського транспорту характеризується різноманітними показниками, які властиві її окремим підсистемам. Такі показники, як тривалість очікування, тривалість поїздки, витрати на організацію руху, доступність та інші оцінюють різні боки функціонування транспортної системи. Крім того, інтереси транспортних підприємств та пасажирів є суперечливими. Все це призводить до труднощів у виборі узагальненого критерію ефективності. Протилежні інтереси необхідно враховувати по різному, з різним ступенем

деталізації, при цьому, у більшості випадків, виконується зведення локальних критеріїв, що мають різні одиниці виміру, до одного вартісного показника, що не завжди дозволяє обрати рішення, яке враховує одночасно інтереси міста, мешканців та транспортних підприємств.

У роботі [1] запропоновано підхід до опису цільової функції міського пасажирського транспорту з позиції векторної оптимізації. Об'єктом управління є транспортна система міста, яка складається з k зупинок A_i ($i = \overline{1, k}$); n транспортних маршрутів M_z ($z = \overline{1, n}$), які обслуговуються m видами транспорту C_q ($q = \overline{1, m}$). Кожний маршрут характеризується матрицею кореспонденцій $R_z = \|R_{ij}\|$, де R_{ij} — пасажиропотоки між пунктами i та j ($j, j = \overline{1, k}$), при цьому $R_{ii} = 0$, кількістю рухомих одиниць E_z , протяжністю S_z , інтервалом руху I_z :

$$I_z = \frac{S_z}{E_z V_z}, \quad (1.3)$$

де V_z — середня швидкість руху рухомого складу z -го маршруту.

Ціль управління системою транспортного забезпечення — задоволення попиту на перевезення. Якість її функціонування визначається в результаті оцінки рівня задоволення вимогам, які висуваються підсистемами «місто» та «мешканці». Основні з них такі.

Маршрути МПТ повинні відповідати кореспонденціям пасажиропотоків

$$\delta_1 = f_1(R_{ij} \in M). \quad (1.4)$$

Пішохідні підходи пасажирів до зупинок повинні бути мінімальними

$$\delta_2 = f_2(t_{\text{пішз}}). \quad (1.5)$$

Забезпечення регулярності руху по маршрутах, яке знижує тривалість очікування пасажирами посадки у транспортний засіб

$$\delta_3 = f_3(t_{оч} = I_z/2). \quad (1.6)$$

Забезпечення мінімальних витрат часу на пересадку з одного маршруту на інший

$$\delta_4 = f_4(t_{пер}). \quad (1.7)$$

Забезпечення мінімальних витрат часу на поїздки

$$\delta_5 = f_5(t_z). \quad (1.8)$$

Забезпечення комфортності поїздки, яка визначається рівнем наповнення рухомого складу, безпекою руху та зручністю поїздки

$$\delta_6 = f_6(P, q). \quad (1.9)$$

У вищевикладених формулах використані такі позначення: δ — показник задоволення населення на транспортні послуги; f — параметрично визначені функціонали однозначного характеру; $t_{пішз}$ — середні витрати часу на пішохідні підходи до зупинок маршруту; $t_{пер}$ — середні витрати часу на пересадку з маршруту на маршрут; t_z — середні витрати часу на поїздки на z -му маршруті; P — наповнення рухомого складу пасажирями; q — пасажиромісткість рухомого складу.

Якщо показники виразити через витрати часу пасажирями на пересування, то, природно інтереси населення зводяться до мінімізації їх значень

$$\min H(\delta), \quad (1.10)$$

де H — функціонал, який виражає витрати часу населення на пересування містом.

Таким чином, задача управління міським пасажирським транспортом зводиться до пошуку рішення, яке задовольняє взаємодію R_{ij} , M та E , що забезпечує виконання умови (1.10) при заданих значеннях H та G .

Однак, інтереси виділених підсистем не співпадають. Наприклад, населення міста воліє мінімізувати час пересування містом у будь-який час доби. Це призводить або до збільшення кількості рухомого складу, підвищення експлуатаційних витрат і як наслідок, до підвищення вартості проїзду. У той же час, якщо підсистема «транспорт» не відреагує на такі запити населення, знижується якість їх транспортного обслуговування (збільшуються інтервали руху, скорочується час знаходження рухомого складу на маршруті тощо).

Крім того, у система обслуговування мешканців міста пасажирським транспортом функціонує у режимі значної невизначеності. Вона полягає, з одного боку, у нестаціонарному характері попиту на перевезення у часі (доба, день тижня). Це призводить до появи на протязі доби перехідних, несталих режимів функціонування транспортної системи, у яких показники ефективності її роботи значно знижуються. З іншого боку, невизначеність вносять різноманітні відмови (технічні, організаційні) у підсистемі «транспорт» (вихід з ладу транспортних засобів, систем управління тощо). Наслідок цього є такий-же — несталі перехідні режими функціонування МПТ.

Для підтримання системи у сталому стані необхідні критерії, по яких можна було б виконати оцінку стану системи і визначити доцільність застосування тієї чи іншої керівної дії для введення системи у сталий стан. Таким чином модель транспортного процесу можна представити у вигляді

$$H(\delta) = \Phi_1(R_{ij}, M, \bar{U}, T), \quad P_q = \Phi_2(R_{ij}, M, \bar{U}, T) + \Phi_3(D), \quad q = \overline{1, m}, \quad (1.11)$$

де $H(\delta)$ та P — відповідно, показники задоволення попиту населення міста рентабельності транспортних підприємств;

Φ_1, Φ_2, Φ_3 — параметричні функціонали однозначного характеру;

$\bar{U}$ — вектор управління;

D — множина технічних засобів передавання та обробки інформації.

1.3 Якість обслуговування пасажирів та її складові

Під якістю транспортного обслуговування пасажирів розуміють сукупність властивостей перевізного процесу й системи перевезень пасажирів, що обумовлюють відповідність їх нормативним вимогам. Властивості перевізного процесу й системи перевезень визначають об'єктивну особливість рівня організації й здійснення перевезень пасажирів і проявляються при задоволенні транспортних потреб пасажирів. Властивості підрозділяють на прості й складні. Останні представляють групу простих властивостей (рисунки 1.2, слайд 1 презентації).

Прості властивості характеризуються показниками якості. Показник якості — об'єктивний вимірник ступеня прояву властивості. Залежно від ступеня прояву властивості показник приймає те або інше значення. Норматив показника якості — значення показника, що відповідає границі різних оцінок якості. Розрізняють нормативи граничні й шкальні. Граничні нормативи показників якості розмежовують об'єкти на два типи (за принципом «придатний — непридатний»). Шкальні нормативи показників якості встановлюють значення показників, що відповідають різним оцінкам (за принципом бальної оцінки: незадовільно, задовільно, добре, відмінно й т. д.).

Загальні вимоги до показників якості: відбиття реальних інтересів пасажирів і суспільства, вимірність, залежність від стану й рівня організації перевезень, мінімум надмірності.

Оцінка якості — процедура порівняння фактичного значення показника з нормативним, виявлення розбіжності даних значень і встановлення причин останньої. На підставі оцінки якості по кожному окремо взятому показнику (диференціальних оцінок якості) встановлюють комплексну (інтегральну) оцінку якості, що характеризує сукупну якість всіх показників, що враховуються. Оцінки якості використовують для управління нею.

Рівень розвитку маршрутної системи. Рівень розвитку маршрутної системи визначає потенційну доступність пересування за допомогою міського транспорту загального користування.

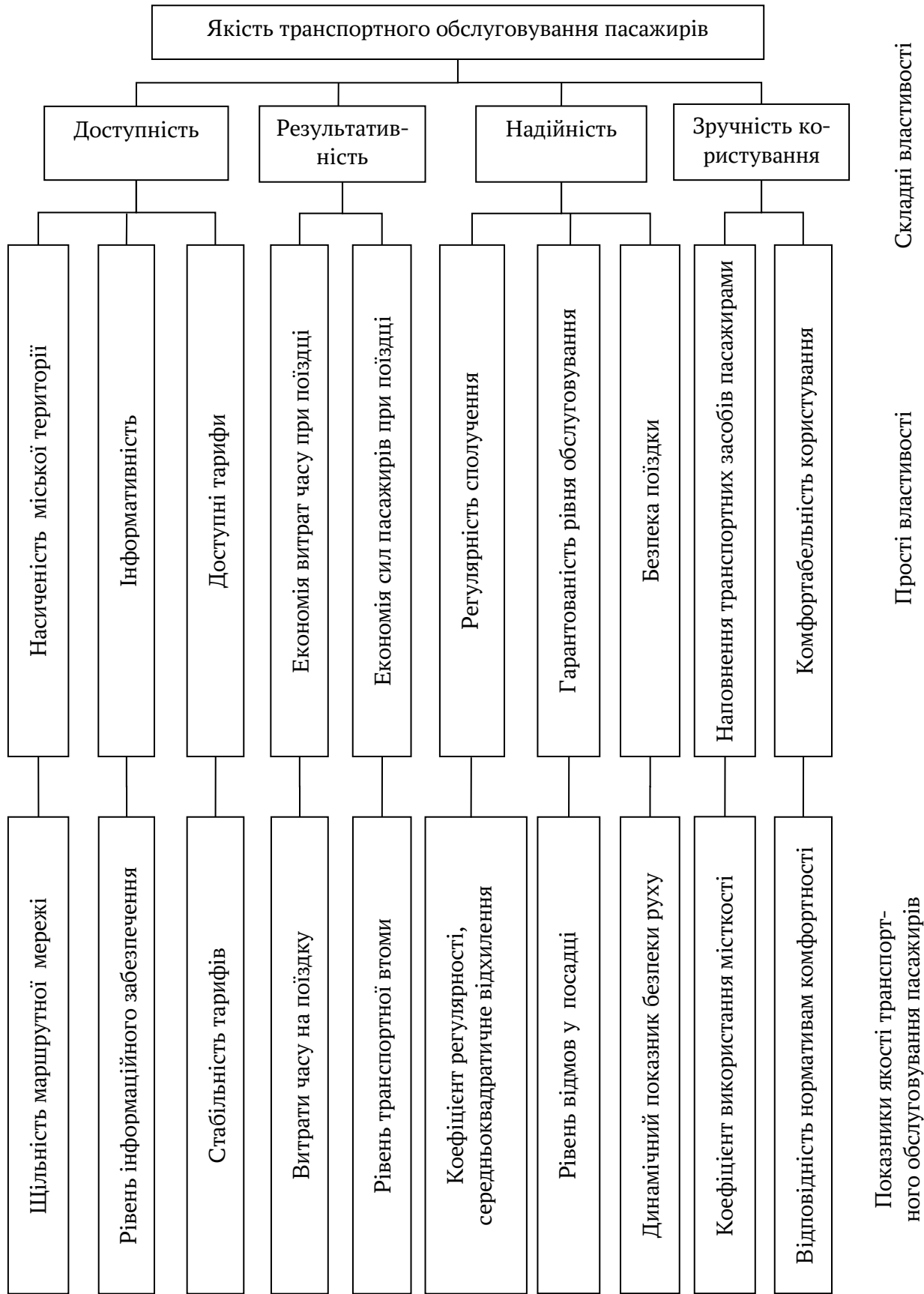


Рисунок 1.2 — Показники якості транспортного обслуговування пасажирів міським транспортом загального користування

При визначенні рівня розвитку маршрутної системи використовують характеристику — щільність маршрутної мережі, яка чисельно дорівнює відношенню сумарної довжини маршрутної мережі до площі території, що обслуговується.

Середня щільність маршрутної мережі для міст, що мають тільки автобусний транспорт, повинна становити $2\text{--}2,5 \text{ км}^{-1}$. У випадку одночасної роботи в місті різних видів міського транспорту загальна щільність маршрутної мережі може досягати $3\text{--}3,5 \text{ км}^{-1}$. Щільність маршрутної мережі вище в центральних районах міста. У середніх умовах для міст в залежності від чисельності їх населення щільність маршрутної мережі повинна мати значення, наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — Рекомендована щільність маршрутної мережі в залежності від населення міста

Чисельність населення міста, тис. чол.	понад 1000	501–1000	251–500	101–250	до 100
Щільність маршрутної мережі, км^{-1}	2,5	2,4	2,0–2,3	1,8–2,0	1,4–1,6

При меншій щільності маршрутної мережі рівень розвитку маршрутної системи в місті не можна визнати достатнім. При рішенні питань розвитку маршрутної мережі міського транспорту загального користування оптимізують схеми маршрутів. Перевищення нормативної щільності маршрутної мережі приводить до збільшення кількості перетинань маршрутів, у результаті чого знижуються швидкості руху на маршрутах, спадає їх провізна спроможність.

Рівень розвитку маршрутної системи, який оцінюється щільністю маршрутної мережі визначає можливість здійснення безпересадочних поїздок.

Витрати часу пасажир на поїздку. Час, який пасажир затрачує на поїздку, витрачається непродуктивно, у зв'язку із чим підлягає мінімізації.

Загальні витрати часу пасажирів на мережну поїздку складаються з часу підходу до зупинки від місця проживання (роботи, тощо), часу очікування посадки у рухомий склад, тривалості поїздки та переходу від зупинки призначення до місця проживання (роботи, тощо). У загальному випадку до цього часу включають тривалість пересадки з одного маршруту (виду транспорту) на інший.

Витрати часу на піше пересування до зупинки відправлення в середньому дорівнюють тривалості пішого пересування від зупинки прибуття до мети поїздки.

Щільність мережі швидкісних автобусних маршрутів повинна складати у середньому $0,5 \text{ км}^{-1}$. Раціональна довжина перегону на маршруті зі звичайним позупинковим сполученням у середньому складає 400–500 м. Для швидкісних автобусних маршрутів середня довжина перегону збільшується до 1200–1500 м. При довжині перегону більше зазначеної зростають витрати часу пасажирів на піші пересування, а при меншій — знижується швидкість сполучення на маршруті. В обох цих випадках зростають загальні витрати часу пасажирів на пересування від дверей до дверей. Середню швидкість пішого пересування для міських умов приймають 4 км/год., а в містах із чисельністю населення 1 млн. жителів і більше — 5 км/год.

Згідно ДБН 360-92** «Містобудування. Планування та забудова міських та селищних поселень» дальність пішохідних підходів до найближчої зупинки міського пасажирського транспорту слід приймати не більше 500 м. У загально-міському центрі дальність пішохідних підходів до найближчої зупинки міського пасажирського транспорту від об'єктів масового відвідування повинна бути не більше 250 м; у виробничих та комунально-складських зонах — не більше 400 м від прохідних підприємств; у зонах масового відпочинку та спорту — не більше 800 м від головного входу. У районах індивідуальної садибної забудови дальність пішохідних підходів до зупинок міського транспорту може бути збільшена у великих, крупних та найкрупніших містах до 600 м, у малих

та середніх містах — до 800 м. Відстань між зупинками на лініях міського пасажирського транспорту у межах території населених пунктів слід приймати для автобусів, тролейбусів і трамваїв 400–600 м, швидкісних автобусів і трамваїв 800–1200 м, метрополітену 1000–1500 м, електрифікованих залізниць — 1500–2000 м.

Витрати часу на очікування пасажиром посадки в загальному виді визначаються трьома факторами: інтервалом руху на маршруті, точністю дотримання розкладу руху водіями, пасажиромісткістю використовуваних транспортних засобів.

Заходу щодо зниження витрат часу на очікування посадки повинні бути спрямовані на підвищення регулярності руху на маршруті; раціональний розподіл провізної спроможності парку рухомого складу між маршрутами; раціоналізацію кількості й пасажиромісткості рухомого складу на маршрутах, своєчасне інформування пасажирів про зміни в розкладі руху (у випадку підвищених інтервалів руху). Зниження витрат часу на очікування є основним внутрішнім резервом економії загальних витрат часу пасажирів на поїздки у містах.

Наповнення рухомого складу пасажирами. Наповнення рухомого складу пасажирами у внутрішньоміському сполученні характеризують коефіцієнтом використання загальної пасажиромісткості (коефіцієнтом наповнення) автобуса, тролейбуса або вагону трамваю. Загальна пасажиромісткість транспортного засобу визначається сумою місць для проїзду сидячи та стоячи. Встановлені норми корисної площі з розрахунку на одного пасажирів становлять: для сидячого пасажирів $0,315 \text{ м}^2$, для стоячого $0,125 \text{ м}^2$ (більш комфортним є $0,2 \text{ м}^2$).

Для поліпшення якості транспортного обслуговування пасажирів за показником наповнення рухомого складу пасажирами необхідно: вчасно обстежувати пасажиропотоки з наступною розробкою раціональних розкладів руху; використовувати резервні одиниці рухомого складу для виключення зривів рейсів на маршрутах; підвищувати регулярність руху на маршрутах; вводити

швидкісне й експресне сполучення (ці заходи підвищують оборотність рухомого складу); координувати роботу різних видів міського транспорту загального користування.

Комфортабельність транспортного пересування. Поняття комфорт у загальному випадку характеризує побутові зручності, улаштованість, затишок у місці перебування людини. Стосовно до міських пасажирських перевезень виділяють: комфорт очікування поїздки в автобусі, тролейбусі або вагоні трамвая; комфорт посадки в транспортний засіб; комфорт самої поїздки. Властивість транспортної системи надавати пасажирам необхідний комфорт називається комфортабельністю.

Комфорт очікування поїздки забезпечується устаткуванням і утриманням у належному порядку зупинок маршрутів, шляхів підходу до них. Посадковий майданчик зупинки повинен мати тверде й рівне покриття, відділене по висоті від проїзної частини бордюром каменем висотою 200 мм. Довжина посадкового майданчику повинна відповідати кількості одиниць рухомого складу, які обслуговують дану зупинку одночасно.

Комфорт посадки в транспортний засіб міського транспорту забезпечується використанням для перевезень автобусів міського типу, сучасних тролейбусів і вагонів трамвая, що мають підніжки й поручні, виконані відповідно до нормативних вимог.

Комфорт поїздки пасажирів у транспортних засобах міського транспорту загального користування забезпечується: застосуванням для перевезень рухомого складу, що задовольняє пропонованим санітарно-гігієнічним вимогам й умовам; утриманням устаткування салону в справному стані; дотриманням водіями плавного режиму водіння (прискорення при рушанні з місця не більше $0,8\text{--}1,0\text{ м/с}^2$, уповільнення при гальмуванні не більше $1,5\text{--}1,9\text{ м/с}^2$).

Регулярність руху. Регулярність руху по маршруту — властивість транспортних засобів, які рухаються один за одним послідовно, прибувати у розглядуваний пункт через рівні (згідно розкладу руху) проміжки часу.

Підвищення регулярності руху забезпечується централізацією й автоматизацією диспетчерського управління рухом, створенням резерву рухомого складу, переведенням водіїв на бригадну форму організації праці, раціональним стимулюванням водіїв і диспетчерів, підвищенням надійності рухомого складу в експлуатації, відповідністю провізної спроможності маршруту потребі в перевезеннях пасажирів.

Беспересадочність сполучення. Беспересадочність сполучення — можливість для пасажирів зробити поїздку без пересадки в шляху прямування. Даний показник є особливо значущим для літніх пасажирів, пасажирів з малолітніми дітьми та тих, що прямують у культурно-побутових цілях.

Кількісно цей показник характеризується коефіцієнтом пересадочності, рівним відношенню кількості маршрутних поїздок (тобто, без пересаджень) у місті до мережних (виконаних з пересадкою). Коефіцієнт пересадочності показує середню кількість посадок пасажирів, що припадає на одну поїздку «від дверей до дверей».

Крім коефіцієнта пересадочності, враховують максимальну кількість пересаджень, з яким забезпечується транспортний зв'язок між найбільш «незручними» транспортними районами. Як правило, кількість пересадок не повинна перевищувати однієї. Пересадочність зменшується при оптимізації маршрутної системи, раціональному розташуванні магістральних вулиць, введенні швидкісного й експресного сполучень.

Безпека перевезень. Безпека перевезень — безумовна вимога, яка висувається пасажиром і суспільством до системи організації й управління перевезеннями на міському пасажирському транспорті. При організації перевезень керуються Правилами дорожнього руху, вимогами по забезпеченню безпеки руху на автобусних маршрутах, наказами, розпорядженнями й вказівками органів керування з питань безпеки дорожнього руху.

Для забезпечення безпеки перевезень пасажирів необхідно залучати до роботи водіїв належної кваліфікації (на автобусах повинні працювати переважно водії 1-го або 2-го класу); не допускати переробки водіями встановленої

тривалості робочого дня й робочого тижня; проводити періодичні огляди й щоденні медичні огляди водіїв; попереджувати випуск на маршрути технічно несправного рухомого складу; направляти на маршрути автобуси, що відповідають по габаритним і ваговим параметрам технічній категорії вулиць, по яких проходять ці маршрути; випускати на лінію рухомий склад у кількості, що забезпечує дотримання граничних норм пасажиромісткості; вводити науково обґрунтовані норми часу на пробіг ділянками маршрутів; припиняти рух у випадках технічної неможливості експлуатації маршруту (обвали, зсуви й інші стихійні лиха).

Особливу увагу варто приділяти облаштованості зупинок, оскільки більшість травм, одержуваних пасажирями на міському пасажирському транспорті, виникає під час посадки й висадки з рухомого складу.

Інформаційне обслуговування пасажирів. Інформаційне обслуговування пасажирів — комплекс заходів, спрямованих на надання пасажирам відомостей, необхідних для планування ними своїх поїздок і правильного користування міським транспортом загального користування.

Інформаційне обслуговування включає: можливість ознайомлення із правилами надання послуг на умовах публічного договору перевезення, схемами й режимом роботи маршрутів міського транспорту загального користування на постійних маршрутах; надання даних про місця, де можна придбати абонементні талони для оплати проїзду (за квитково-касової форми оплати проїзду) й довгострокові проїзні квитки, про телефонні номери й адреси органів управління перевізниками та самих перевізників; підтримання у належному порядку засобів екіпірування рухомого складу (в інформаційній частині) і показчиків зупинок маршрутів; видачу пасажирам разових довідок про роботу міського пасажирського транспорту та постійний моніторинг якості надання транспортних послуг пасажирам з оприлюдненням результатів через засоби масової інформації чи мережу Інтернет; наявність у продажі довідників для пасажирів і схем маршрутів; рекламу перевезень засобами масової інформації й наочними засобами.

1.4 Моделювання та його застосування у транспортних системах

Сучасний підхід до дослідження проблем управління транспортними системами та їх якістю передбачає широке застосування математичних методів та ЕОМ. Моделюванню відводиться основна роль при імітації транспортних процесів та оптимізації транспортної системи.

Основна ідея математичного моделювання полягає в тому, щоб забезпечити рішення багатьох задач управління компонуванням значно меншої кількості модельних модулів, які описують поведінку окремих елементів системи. При цьому слід враховувати, що модель об'єкта повинна відбивати основні цільові аспекти управління ним. Таким чином, щоб побудувати просту систему моделей, тобто систему з мінімальною кількістю модулів, необхідно провести найбільш економну класифікацію управлінь.

Опис транспортної системи як об'єкта планування (особливо поточного планування) висуває значно більш жорсткі вимоги до детальності моделювання транспортних ситуацій. Тому задачі планування є найбільш складними з точки зору математичного опису та, особливо, оптимізації [3].

Математичне моделювання дозволяє використовувати багатий набір оптимізаційних методів, довести коректність застосування цих методів. Крім того, значно спрощується аналіз отриманих результатів. Наприклад, можна дослідити стійкість руху за оптимального управління тощо.

Основним недоліком математичного моделювання є обмеження на кількість факторів, які можна врахувати у моделі. За великої кількості факторів модель ускладнюється настільки, що втрачається будь-яка можливість наочного представлення отриманих результатів.

Всі моделі, які зараз використовують для дослідження міських транспортних систем, можна поділити на аналітичні та імітаційні. Розглянемо застосування аналітичних моделей для деяких процесів, що протікають у міських транспортних системах пасажирських перевезень.

1.4.1 Моделі оцінки часу очікування пасажиром посадки на зупинці

Тривалість очікування пасажиром посадки залежить в загальному випадку від інтервалу руху транспортних засобів і за умови відсутності відмов пасажирів у посадці дорівнює половині цього інтервалу. Відмови пасажирів у посадці виникають через відсутність вільних пасажиромісць, що зумовлене дією наступних випадкових чинників:

- 1) відхиленням фактичних моментів прибуття транспортних засобів на зупинку від їх планових значень;
- 2) нерівномірністю накопичення пасажирів, що підходять на зупинку, зумовлену випадковими моментами часу надходження окремих пасажирів;
- 3) нерівномірністю вхідного потоку вільних пасажиромісць у салоні перебуваючих транспортних засобів.

Залежність тривалості очікування посадки $t_{\text{оч}}$ від регулярності руху транспортних засобів визначається відомою формулою Зільберталя [2]:

$$t_{\text{оч}} = \frac{I}{2}(1 + C_I^2), \quad (1.12)$$

де I — інтервал руху на маршруті, хв.;

C_I — коефіцієнт варіації інтервалу руху.

Така модель враховує випадковий характер нерегулярності руху, але не враховує відмови пасажирів у посадці через переповнення рухомого складу. У роботі [1] пропонується наступна модифікація вищенаведеної формули:

$$t_{\text{оч}} = \frac{I}{2}(1 + C_I^2) + t_{\text{дод}}, \quad (1.13)$$

де $t_{\text{дод}} = P_{\text{відм}} I_e$ — додатковий час очікування, що виникає через відмови пасажирів у посадці;

$P_{\text{відм}}$ — імовірність відмови пасажирів у посадці через обмежену пасажиромісткість;

$I_e = I + \frac{\sigma_I^2}{I}$ — так званий, ефективний інтервал руху (тут σ_I — стандартне відхилення фактичних моментів прибуття транспортних засобів на зупинку від планових, передбачених розкладом).

Імовірність відмови у посадці $P_{\text{відм}}$ пропонується визначати за наступною формулою:

$$P_{\text{відм}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy, \quad (1.14)$$

$$\text{при } x = \frac{q + 0,5 - I\lambda}{\sqrt{I\lambda}} \text{ та } -\infty \leq y \leq x,$$

де q — номінальна пасажиромісткість транспортного засобу, пас.;

λ — середня інтенсивність пасажиропотоку на відповідному перегоні маршруту, пас./хв.

Зважаючи на складність розрахунків за наведеними формулами, автором пропонується графічна залежність стандартного відхилення інтервалу руху σ_I від коефіцієнту регулярності руху k_p , який визначається як відношення кількості рейсів, виконаних без відхилення від розкладу руху, до загальної кількості виконаних рейсів, передбачених розкладом руху на маршруті.

Інший підхід до визначення $t_{\text{дод}}$ запропоновано у роботі [4]. Він побудований на використанні неперервного дифузійного наближення Кінгмана [5], отриманого для системи масового обслуговування типу $G/G/1$ при великому навантаженні

$$t_{\text{дод}} = \frac{I \left(\frac{1+c_I^2}{2} \right) (1 + \rho^3 C_I^2 + \rho C_\lambda^2)}{(1 - \rho)(1 + \rho^2 C_I^2)}, \quad (1.15)$$

де C_λ — коефіцієнт варіації інтервалів прибуття пасажирів на зупинку;

ρ — коефіцієнт завантаження маршруту, який у загальних передбаченнях може бути обчислений за наступною формулою

$$\rho = \frac{Q}{S}, \quad (1.16)$$

де Q — годинний пасажиропотік в одному напрямку через розглядуваний переріз маршруту, пас./год.;

S — кількість наданих пасажиромісць (провізна спроможність) у тому ж перерізі маршруту, пасажиромісць/год.

Ця формула відбиває той факт, що навіть при регулярному русі транспортних засобів нерівномірність накопичення пасажирів на зупинці може призвести до появи відмов пасажиром у посадці та виникнення додаткового часу очікування $t_{\text{дод}}$. Однак, слід зауважити, що формула (1.16) є справедливою тільки при великому навантаженні ($\rho \rightarrow 1$) та представляє вираз для визначення верхньої границі тривалості очікування.

Нарешті, слід зазначити, що застосування залежностей теорії масового обслуговування можливе тільки за умови, коли вхідні потоки пасажирів та транспорту на зупинках є стаціонарними у часі (у граничному випадку — пуасонівськими). Однак, пасажиропотік у реальних системах міського транспорту є нестаціонарним. При цьому найбільша інтенсивність підходу пасажирів до зупинок спостерігається у так звані години «пік» коли транспортна система працює з найбільшим навантаженням. Для окремих зупинок у ці періоди часу інтенсивність підходу пасажирів до зупинки перевищує провізну здатність маршрутного транспорту. З позицій теорії масового обслуговування, за таких умов система працює у несталому, перевантаженому режимі. Таким чином, відомі формули, зокрема і формула (1.15), отримані для сталого режиму, не є справедливими і доцільно розглядати процес функціонування зупинки як неперервний у часі, що дає можливість досліджувати перехідні процеси та перевантаження [5]. У роботі [6] пропонується методика оцінки тривалості очікування

пасажиром посадки на зупинці в умовах найбільшого навантаження через неперервне наближення для процесів прибуття-відправлення пасажирів.

Застосуємо для зупинки МГТ, як системи обслуговування, детерміноване неперервне наближення, для чого введемо позначення: $n_{\text{п}}(t)$ — кількість пасажирів, що підійшли до зупинки за час $[0, t]$; $n_{\text{в}}(t)$ — кількість пасажирів, що залишили зупинку за час $[0, t]$; $\lambda(t)$ — інтенсивність підходу пасажирів до зупинки, що залежить від часу; $\mu(t)$ — інтенсивність відправлення пасажирів з зупинки, що залежить від часу. Тоді кількість пасажирів, що очікують посадки на зупинці $M_{\text{ч}}$ у довільний момент часу t дорівнює

$$M_{\text{ч}}(t) = M_{\text{ч}}(0) + n_{\text{п}}(t) - n_{\text{в}}(t) = M_{\text{ч}}(0) + \int_0^t \lambda(x) dx - \int_0^t \mu(x) dx, \quad (1.17)$$

Таким чином, сумарна кількість пасажиро-годин, проведених пасажирями на зупинці в очікуванні посадки у транспортний засіб за певний проміжок часу $[0, T]$ може бути визначена за формулою

$$P = M_{\text{ч}}(0)T + \int_0^T [n_{\text{п}}(t) - n_{\text{в}}(t)] dt. \quad (1.18)$$

Знаючи величину P можна обчислити оцінку середньої довжини черги на зупинці $\overline{M}_{\text{ч}}$ та оцінку середнього часу очікування пасажирями посадки $\overline{T}_{\text{оч}}$ за досліджуваній проміжок часу T

$$\overline{M}_{\text{ч}} = \frac{P}{T}; \quad \overline{T}_{\text{оч}} = \frac{P}{n_{\text{п}}(t)}. \quad (1.19)$$

Таким чином, для обчислення оцінки середньої довжини черги та середнього часу очікування посадки необхідно мати у аналітичному вигляді вирази для функцій $\lambda(t)$ та $\mu(t)$, що є нестационарними випадковими функціями.

Одним з підходів до математичного представлення нестационарного часового ряду є його декомпозиція з виділенням тренду [7]. За такого підходу ряд може бути представлений у наступному вигляді

$$X(t) = f(t) + \phi(t), \quad (1.20)$$

де $f(t)$ — прогнозована компонента, тобто сам тренд;

$\phi(t)$ — випадкова компонента.

Виділити тренд можна за допомогою методів регресійного аналізу. Перед застосуванням методів для зменшення коливності рядів $\lambda(t)$ та $\mu(t)$ застосовано згладжування тричленною ковзною середньою. За допомогою методу нелінійного оцінювання Гауса-Ньютона на ЕОМ у статистичному пакеті STATISTICA 7.0 для рівняння тренду підібрані моделі регресії у вигляді раціональної функції вигляду

$$f(t) = \frac{a + bt}{1 + ct + dt^2}. \quad (1.21)$$

Для оцінки підгонки регресійних моделей крім достатньо високого значення коефіцієнту кореляції були проаналізовані залишки регресії, які представляють у моделі (1.21) випадкову компоненту $\phi(t)$. Аналіз показав, що вони мають нормальний розподіл з нульовим математичним очікуванням та дисперсією S^2 , та у них відсутній тренд, тобто, залишки ведуть себе як білий шум (залишки утворюють стаціонарну нормально розподілену випадкову послідовність).

Маючи аналітичні регресійні моделі для величин інтенсивності підходу та відправлення пасажирів на зупинці використовуючи формули (1.17) та (1.18), покладаючи $M_q(0) = 0$ можна оцінити величини $\overline{M}_q$ та $\overline{T}_{оq}$ із застосуванням методів чисельного інтегрування у будь-якому з поширених математичних пакетів на ЕОМ.

Задача визначення тривалості очікування посадки у роботі [8] вирішена для умов, коли інтервал руху між прибуваючими на зупинку екіпажами розподілений довільним чином з інтегральною функцією розподілу імовірності $F(t)$, розподіл кількості вільних місць у прибуваючих екіпажах є довільним, потік пасажирів має неординарний характер з довільним розподілом $\Phi(t)$ та посадка пасажирів виконується миттєво з дисципліною черги «FIFO» (у порядку надходження). У такому випадку середній час очікування посадки можна визначити за формулою

$$t_{\text{оч}} = \gamma + \frac{\lambda x}{\alpha}, \quad (1.22)$$

$$\text{де } \gamma = \frac{\int_0^{\infty} t(1 - F(t)) dt}{\int_0^{\infty} (1 - F(t)) dt}; \quad \alpha = \Phi(1); \quad x = -[F^+(z)]_{z=1};$$

$$F^+(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{|\epsilon|=1} \frac{\ln d(\epsilon)}{\epsilon - z}, \quad |z| < 1.$$

У наведених формулах γ , α та x позначають відповідно середнє значення величини інтервалу часу між моментом надходження пасажирів на зупинку та моментом відходу екіпажу, середню кількість пасажирів, що одночасно підходять до зупинки та середню кількість пасажирів, що очікують посадки у черзі в момент відправлення екіпажу з зупинки.

Як зазначено, знайти вираз для знаходження $t_{\text{оч}}$ за заданих конкретних функціях $F(t)$, $\Phi(t)$ дуже складно. Це було зроблено для випадку коли інтервали часу між надходженням екіпажів на зупинку розподілені за експоненціальним законом та для випадку регулярного надходження екіпажів на зупинку, пуассонівського потоку пасажирів та постійної кількості вільних місць у екіпажах. Для останнього випадку у роботі [9] пропонується наступна формула

$$t_{\text{оч}} = \frac{I}{2} + \frac{\chi(I)}{\lambda}, \quad (1.23)$$

де $\chi(I)$ — деяка зростаюча опукла функція.

1.4.2 Моделі маршрутів міського транспорту

Існують декілька моделей ізольованого маршруту, тобто такого маршруту, пасажир якого не має альтернативи у виборі шляху пересування. Розглянемо їх у порядку від простого до складного [1].

Модель 1. Припустимо, що заданий ізольований маршрут транспортної мережі, що складається з M зупинок та $M - 1$ перегонів. На маршруті рухається N транспортних одиниць. Припустимо також, що тривалість руху всіх транспортних засобів на маршруті $T_{\text{об}}$ є однаковою та інтервали між транспортними одиницями I рівні між собою. Тоді справедливе співвідношення

$$T_{\text{об}} = NI; \quad T_{\text{об}} = \text{const}. \quad (1.24)$$

Модель 2. Введемо до попередньої моделі тривалість зупинки транспортної одиниці на зупинці, яка у деякій мірі відбиває процес взаємодії потоку транспортних одиниць та пасажиропотоку. Таким чином, отримаємо:

$$T_{\text{об}} = T_{\text{зуп}} + T_{\text{пр}} = IN, \quad (1.25)$$

де $T_{\text{зуп}}$ — сумарна тривалість стоянки транспортної одиниці на всіх зупинках маршруту.

У свою чергу, у найпростішому випадку $T_{\text{зуп}} = \frac{I P_{\Gamma} C}{K}$, де P_{Γ} — годинний пасажиропотік, пас.; C — тривалість посадки-висадки пасажирів, год./пас.; K — місткість транспортної одиниці, пас. Таким чином, розглядувана модель набуває вигляду

$$IN = \frac{IP_q C}{K} + T_{\text{пр}}, \quad (1.26)$$

де $T_{\text{пр}} = T_{\text{пр}}^0$ – константа, яка не залежить від N .

Така модель дозволяє знаходити залежність $I = I(N)$ за кількості транспортних одиниць $N \geq N_0$, де $N_0 \geq \frac{P_q C}{K}$.

Модель 3. Так як $T_{\text{пр}}$ насправді залежить від кількості транспортних одиниць на маршруті, то необхідно врахувати цю залежність. Достатньо загальною моделлю такого вигляду є така

$$I = \begin{cases} \frac{T_{\text{пр}}(N)N}{N - \frac{CP_q}{K}}, & \text{якщо } \frac{T_{\text{пр}}N}{N - \frac{CP_q}{K}} \geq I_0; \\ I_0, & \text{якщо } \frac{T_{\text{пр}}N}{N - \frac{CP_q}{K}} < I_0. \end{cases} \quad (1.27)$$

$$T_{\text{пр}}(N) = \begin{cases} T_{\text{пр}}^0, & \text{якщо } I \geq I_0; \\ I_0 \left(N - \frac{CP_q}{K} \right), & \text{якщо } I < I_0. \end{cases} \quad (1.28)$$

З використанням цієї моделі можна вирішувати задачу оптимізації кількості одиниць рухомого складу на маршруті.

Модель 4. Ізольований автобусний маршрут розглядається як багатофазна система масового обслуговування. Фаза для кожної i -ї зупинки буде містити Q_i паралельних каналів обслуговування з інтенсивністю обслуговування λ_i кожний (тут $\frac{1}{\lambda_i} = t_i$ — середній час стоянки на i -й зупинці).

Припустимо, що на кожен фазу надходить пуасонівський потік пасажирів, які бажають уїхати на j -ту фазу. Позначимо інтенсивність цього потоку як μ_{ij} , а місткість однієї транспортної одиниці — через A .

Накладемо обмеження, щоб середня кількість пасажирів, які були відправлені з зупинки однією транспортною одиницею, було не менше, ніж кількість

пасажирів, які підійшли до зупинки за інтервал часу між двома появами транспортних одиниць. Таким чином отримуємо обмеження на значення λ .

Середня кількість пасажирів, які підходять до i -ї зупинки за інтервал часу $I = 1/\lambda$, дорівнює

$$B_i = \sum_{j=0}^{m-1} \frac{\mu_{ij}}{\lambda}. \quad (1.29)$$

Середню кількість пасажирів A_i , які знаходяться у транспортній одиниці, можна отримати, просумувавши μ_{kj}/λ по всім таким наборам (k,j) , що пасажир, який рухається з k -ї зупинки до j -ї, проїжджають через i -ту зупинку. Позначимо множину цих наборів як Ω_i :

$$A_i = \sum_{\Omega_i} \frac{\mu_{kj}}{\lambda}. \quad (1.30)$$

Місткість A транспортної одиниці не менше кількості пасажирів, які залишаються у ній після закінчення посадки-висадки на i -й зупинці. Якщо позначити як l_i кількість пасажирів, які входять на зупинці i , $C_{ij} = \sum_{j=0}^{m-1} \frac{\mu_{ij}}{\lambda}$, то отримаємо таку нерівність

$$A \geq B_i - C_i + A_i, \quad (i = \overline{0, m-1}), \quad (1.31)$$

чи, скориставшись виразами для A_i , B_i та C_i , отримаємо

$$A \geq \frac{1}{\lambda} \left(\sum_{j=0}^{m-1} \mu_{ij} - \sum_{j=0}^{m-1} \mu_{ij} + \sum_{\Omega_i} \mu_{ij} \right). \quad (1.32)$$

Таким чином, для λ маємо таку нерівність

$$\lambda \geq \frac{1}{A} \left(\sum_{j=0}^{m-1} \mu_{ij} - \sum_{j=0}^{m-1} \mu_{ij} + \sum_{\Omega_i} \mu_{ij} \right). \quad (1.33)$$

Система нерівностей (1.33) забезпечує функціонування транспортної системи, за якої черги на зупинках в середньому відсутні. Позначимо максимум по i від виразу у правій частині нерівності (1.33) через λ . Отримаємо нерівність

$$\lambda = \lambda(N) \geq \lambda^*. \quad (1.34)$$

З іншого боку, для забезпечення посадки та висадки пасажирів на i -й зупинці необхідне обмеження на середній час стоянки транспортної одиниці (обмеження знизу на тривалість про слідування перегоном з'являються з природних обмежень швидкості руху транспортної одиниці та довжини перегону). Припустимо, що середній час обміну пасажиром є монотонною функцією посадки та висадки кількості пасажирів на зупинці, а також кількості пасажирів, які проїжджають зупинку наскрізь. Тоді отримаємо систему обмежень для $\lambda_i(t)$, $\omega_i(t)$:

$$\frac{1}{\lambda_i}(t) \geq f(B_i, C_i, A_i, t);$$

$$\frac{1}{\omega_i(t)} \geq q_i, \quad (1 \leq t \leq N), \quad i = \overline{0, m-1}. \quad (1.35)$$

Якщо прийняти, що функція f є лінійною по всім аргументам, для $\lambda_i(t)$ отримаємо прості обмеження вигляду

$$\lambda_i(t) \leq S_i(t) \lambda(N), \quad 1 \leq t \leq N, \quad (1.36)$$

де $S_i(t)$ — функція від пасажиропотоку та кількості транспортних одиниць на зупинці. Крім того, повинно виконуватись обмеження

$$N \leq N_0, \quad (1.37)$$

де N_0 — максимально можлива кількість транспортних одиниць на маршруті.

Описані моделі мають низку недоліків, до яких відноситься насамперед те, що не враховуються кілька важливих факторів, таких як характер накопичення пасажирів на зупинці, наявність відмов пасажирів у посадці у транспортний засіб через його заповнення. Крім того, якщо гіпотезу про пуасонівський потік надходження пасажирів на зупинку ще можна прийняти (пасажирів підходять до зупинки незалежно один від одного), то гіпотезу про пуасонівський потік транспортних одиниць на маршруті навряд чи можна вважати правильною.

Таким чином, можна зробити висновок, що аналітичні моделі не мають достатню гнучкість, базуються на припущеннях, що спрощують модель з втраченою її адекватністю та значно ускладнюються при намаганні врахувати велику кількість факторів при моделюванні. Зі зростанням кількості факторів та врахуванні всіх реальних обмежень вони стають малопридатними для практичного використання. Обійти ці недоліки та ускладнення можуть імітаційні моделі. Вони хоч і поступаються аналітичним моделям у наявності результатів, але дозволяють враховувати у моделі практично будь-яку кількість факторів при моделюванні. Імітаційні моделі у останній час розвиваються дуже бурхливими темпами одночасно зі зростанням обчислювальних потужностей сучасних ЕОМ. Крім того, більшість систем імітаційного моделювання дозволяють моделювати систему у режимі реального часу з детальною візуалізацією всіх процесів, що протікають у ній, дозволяють проводити експерименти типу «а що буде, якщо ...». Тому використання систем імітаційного моделювання для транспортних систем виглядає вельми перспективним.

1.5 Висновки та постановка задач

На підставі проведеного аналізу умов функціонування системи міського маршрутного пасажирського транспорту, критеріїв її якості та методів моделювання транспортних систем міст можна зробити такі висновки:

а) система міського транспорту є складною підсистемою у системі життєзабезпечення міста, функціонує в умовах невизначеності, постійно змінюється з розвитком міста та його виробничої та соціальної інфраструктури;

б) загальними критеріями ефективності функціонування транспортної системи міста є задоволення попиту населення на поїздки у місті з мінімальними витратами часу на пересування за умови економічно ефективної роботи рухомого складу та підприємств автотранспорту та міського електричного транспорту;

в) якість транспортного обслуговування населення оцінюється низкою критеріїв, деякі з яких не можливо визначити чисельно. Одним з основних критеріїв якості надання транспортних послуг є мінімізація часу на пересування пасажирів, виконане у комфортабельних та безпечних умовах з мінімальною кількістю пересадок;

г) найбільш ефективним методом моделювання транспортних систем міст є імітаційне, оскільки аналітичні моделі навіть елементарних частинних процесів, що протікають у транспортній системі, суттєво ускладнюються при збільшенні кількості факторів, що включаються до моделі, та стають практично неприйнятними та складними для розуміння.

Виходячи з цього, метою даної роботи є розробка імітаційної моделі маршруту міського транспорту загального користування з використанням сучасних пакетів прикладних програм та розробка математичних моделей опису несталих у часі пасажиропотоків у транспортній системі для використання останніх в якості вихідних параметрів для процесу імітації обслуговування пасажиропотоків на маршруті міського пасажирського транспорту.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ НА МІСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

2.1 Вибір і обґрунтування інструменту моделювання

Моделювання є загальнопоширеним засобом пізнання дійсності. Цей процес складається з двох основних етапів: розробка моделі та аналіз розробленої моделі. Моделювання дозволяє дослідити сутність складних процесів та явищ за допомогою експериментів не з реальною фізичною системою, а з її моделлю.

Моделі складних систем будуються у вигляді програм, які виконуються на комп'ютері. Комп'ютерне моделювання існує понад 50 років. З того часу склалися дві взаємно пересічні області комп'ютерного моделювання, які можна охарактеризувати як математичне моделювання і імітаційне моделювання.

Імітаційне моделювання має дуже широкі межі. Можна по різному підходити до класифікації задач, які ним вирішуються. У відповідності до одної з них ця область має чотири основних напрямки: моделювання динамічних систем, дискретно-дієве моделювання, системна динаміка та агентне моделювання. Процеси обслуговування пасажирів у міських транспортних системах відносяться до області дискретно-дієвого моделювання.

Термін «дискретно-дієве моделювання» історично закріпився за моделюванням систем обслуговування потоків об'єктів деякої природи: клієнтів банку, автомобілів на автозаправній станції, телефонних викликів, пацієнтів у медичних установах, пасажирів на різних видів транспорту тощо. Саме такі системи можна назвати системами масового обслуговування (СМО).

Перелічені прості системи не вичерпують всієї множини систем масового обслуговування. Наприклад, конвеєрні системи для потокового виробництва та складання деталей можуть також розглядатися як системи масового обслуговування, але вони вимагають при побудові моделі враховувати геометричні та технічні характеристики конвеєрів. Крім того, великий клас систем включає

такі процеси обслуговування, які вимагають для окремих операцій виконання специфічних умов, наприклад, наявності ресурсів певного виду .

Все вищесказане у повній мірі відноситься до міського пасажирського транспорту. Моделі переміщення пасажирів у міському просторі повинні враховувати геометрію маршрутної мережі, розташування зупиночних пунктів, технічні характеристики рухомого складу різних видів міського транспорту, нарешті, переваги пасажирів, які у даній системі є активними елементами та самі обирають шлях руху.

Зараз існує велика кількість пакетів імітаційного моделювання, які можна поділити на дві групи:

а) *спеціалізовані* — призначені для імітаційного моделювання систем у деякій предметній області. Наприклад у галузі транспорту це PTV VISUM (Німеччина), AIMSUN (Іспанія), TRANSCAD (США) та інші.;

б) *універсальні* — призначені для створення імітаційних моделей будь-яких систем у одній чи декількох напрямках моделювання. До таких пакетів відносяться GPSS, SIMULA, ANYLOGIC.

Для моделювання системи обслуговування пасажиропотоків будемо використовувати бібліотеку ENTERPRISE LIBRARY пакету імітаційного моделювання ANYLOGIC (розробник — фірма XJ Technologies, Санкт-Петербург, Російська Федерація). Запорізький національний технічний університет має ліцензовану версію цього програмного продукту.

Програмний інструмент ANYLOGIC побудований на об'єктно-орієнтованій концепції. Такий підхід до представлення складних систем є на сьогодні кращим засобом методом управління складністю інформації. Ця концепція дозволяє простим та природним способом організувати та представити структуру складної системи. Зручний інтерфейс та численні засоби підтримки розробки моделей у ANYLOGIC роблять не тільки використання, але й створення комп'ютерних імітаційних моделей у цьому середовищі моделювання, доступними для користувача з невеликою обізнаністю у області програмування. Це дає змогу зосередитися безпосередньо на сутності моделі, відкинувши технічні питання реалізації окремих дій при побудові імітаційної моделі.

Графічна оболонка системи ANYLOGIC підтримує проектування, розробку, документування моделі, виконання комп'ютерних експериментів з моделлю, включаючи різні види аналізу: від аналізу чутливості до оптимізації параметрів моделі відносно деякого критерію (рисунк 2.1).

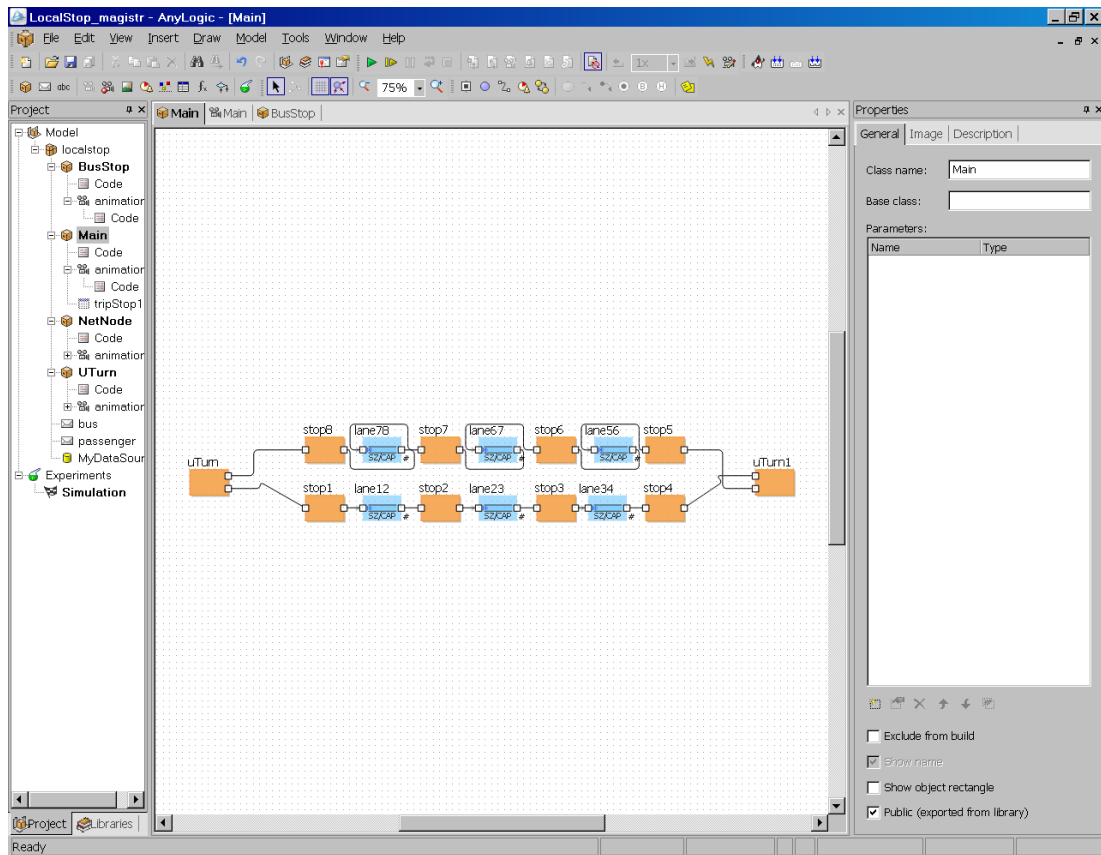


Рисунок 2.1 — Загальний вигляд головного вікна AnyLogic

Ліворуч відображується структура моделі у вигляді ієрархічного дерева чи бібліотеки системи. Середня частина головного вікна містить змістовну частину моделі: структурну діаграму, вікно анімації, вікно коду моделі тощо. У правій частині відображуються параметри моделі та її окремих блоків.

Бібліотека Enterprise Library надає користувачу високорівневий інтерфейс для швидкого створення моделей дискретно-дієвих систем масового обслуговування у стилі потокових діаграм. Бібліотека містить декілька десятків блоків, з наперед визначеною функціональністю (рисунк 2.2). Кожний блок має набір

параметрів, які при побудові моделі можна конкретизувати у будь-якому екземплярі блоку, використаному в моделі. Також кожний блок має пов'язаний з ним свій опис. Блоки мають вигляд піктограм, переважно прямокутної форми.

Блоки управління потоком заявок (жовтий колір) включають: джерело заявок (Source), стік (Sink), черга заявок (Queue), розділювач потоків (Split), з'єднувач заявок (Assembly) та інші.

Блоки обслуговування заявок (оранжевий колір) включають: затримка заявок (Delay) та обслуговування заявок (Server). Перший з них просто утримує певний заданий час заявку, що надійшла на його вхід. Другий — реалізує затримку декількох заявок одночасно з виділенням кожній з них певного кванту часу обслуговування.

Блоки роботи з ресурсами (синій колір) використовуються у тих випадках, коли для обслуговування заявок необхідні певні (стаціонарні, рухомі тощо) види ресурсів. Ці блоки (Network, NetworkSeizeQ, NetworkEnter тощо) можна також назвати блоками «транспортування мережею», оскільки вони призначені, в основному, для моделювання ресурсів, які рухаються разом з заявкою (наприклад, медична сестра у поліклініці, яка проводить пацієнта до кабінету лікаря тощо).

Допоміжні блоки, до яких відносяться важливі: Lane (однобічний рух заявок мережею з можливістю обгону), Segment (двобічний рух заявок мережею з можливістю обгону), Conveyor (однобічний рух заявок мережею з постійною швидкістю та можливістю накопичення), Node (вузол мережі, який реалізує точки зливання та розділення потоків заявок).

2.2 Розробка моделі маршруту міського транспорту

Будемо розглядати маятниковий ізольований маршрут міського транспорту загального користування. Модель маршруту складається з наступних елементів (блоків):

а) кінцевих зупинок — двох зупинок, на яких відбувається міжрейсовий відстій рухомого складу та виконується операція випуску рухомого складу на лінію у відповідності до заданого розкладу руху чи за заданим плановим інтервалом руху;

б) проміжних зупинок — множини зупинок на трасі маршруту, на яких відбувається пасажирообмін (посадка та висадка пасажирів). Пасажир, по надходженню на зупинку у випадковий момент часу у відповідності до заданого закону розподілу інтервалів між послідовним прибуттям пасажирів, становиться до черги та очікує в ній доти, доки не виникне можливість здійснити посадку у прибулий транспортний засіб. Умовою можливості посадки пасажирів є наявність вільних пасажиромісць у салоні транспортної одиниці;

в) перегонів між зупинками — елементів, які з'єднують проміжні та кінцеві зупинки та характеризуються довжиною чи тривалістю руху по них транспортних одиниць;

г) транспортних одиниць — множини рухомих об'єктів, які мають обмежену пасажиромісткість, певну кількість місць для сидіння (меншу за повну пасажиромісткість чи таку, що дорівнює їй), можливо, швидкість руху, задану детерміновано чи певним законом розподілу;

д) пасажирів — множини об'єктів, шляхи пересування яких характеризуються міжзупинковою матрицею пасажирських кореспонденцій, представлену у вигляді множини значень $0 \leq P_{ij} \leq 1$, де значення P_{ij} дорівнює імовірності того, що пасажир, який увійшов на зупинці i вийде на зупинці j (при цьому, природно, $\sum_i P_{ij} = 1$).

2.2.1 Модель проміжного зупиночного пункту

Модель проміжного зупиночного пункту у середовищі імітаційного моделювання ANYLOGIC наведена на рисунку 2.2 та слайді 4 складається з 12 блоків.

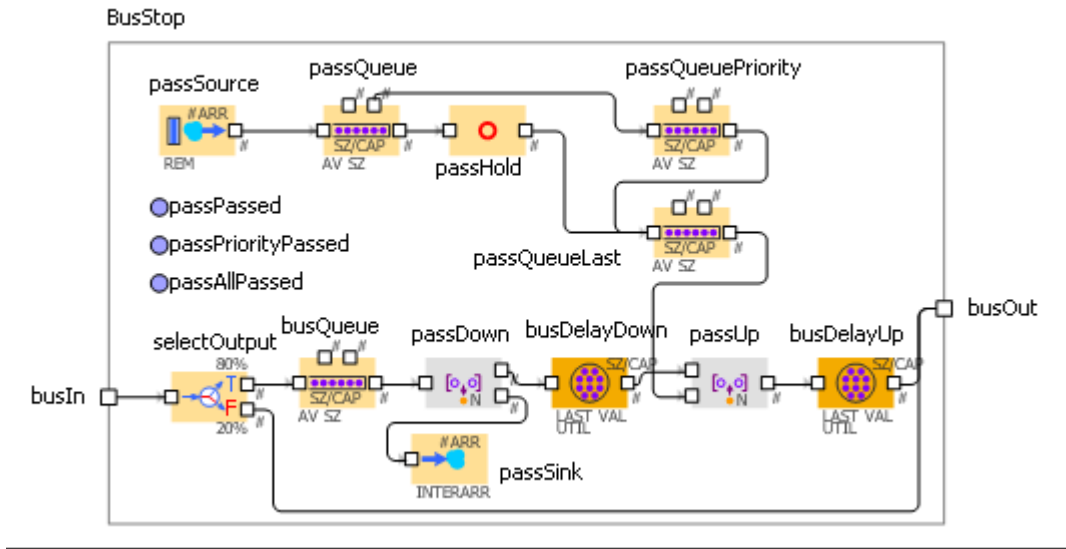


Рисунок 2.2 — Структурна модель проміжного зупиночного пункту

Вхідні параметри моделі проміжного зупиночного пункту наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Параметри моделі проміжного зупиночного пункту

Ідентифікатор параметру	Тип параметру	Опис параметру
StopID	integer	унікальний номер — ідентифікатор зупинки
MaxWaitTime	real	максимальний час очікування у загальній черзі, через який пасажир переміщується у пріоритетну чергу
InOutTime	real(dynamic)	норма часу на посадку-висадку пасажирів у транспортний засіб (з транспортного засобу)
MaxWaitBus	integer	максимальна кількість транспортних одиниць, що одночасно перебувають на зупинці

Продовження таблиці 2.1.

Ідентифікатор параметру	Тип параметру	Опис параметру
PassedRoutes	integer[]	множина номерів маршрутів, яким належить дана зупинка
NonStopRoutes	integer[]	множина номерів маршрутів, які прямують повз зупиночний пункт без зупинки на ньому
interarrivalTime	real(dynamic)	інтервал часу між послідовним надходженням пасажирів на зупинку
arrivalsMax	integer	максимальна кількість пасажирів, що надходять до зупинки за період моделювання (значення arrivalsMax завжди дорівнює 0 для кінцевої зупинки)
tripTable	Matrix	матриця імовірностей міжзупинкових пасажирських кореспонденцій, яка містить масив пар значень: ідентифікатор зупинки призначення — імовірність того, що пасажир, який здійснив посадку на даній зупинці вийде на цій зупинці призначення

У стовпчику «тип параметру» таблиці 2.1 для позначення типів параметрів використані позначення типів мови програмування Java, яка вбудована у пакет імітаційного моделювання ANYLOGIC. Зокрема, `integer` позначає цілий тип даних; `real` — дійсний тип даних (дробові додатні та від’ємні значення); `Matrix` — матричний тип даних. Доданок `[]` позначає одновимірний масив відповідного типу, а `dynamic` позначає, що даний параметр може змінюватися в процесі моделювання.

Блок `passSource` моделює надходження пасажирів на зупинку. Оскільки пасажир надходить на зупинку незалежно один від одного у випадкові моменти часу, то можна прийняти закон розподілу інтервалів часу між послідовним надходженням пасажирів експоненціальним з середнім значенням `interarrivalTime`. Моделювання виконується вбудованою функцією `Java exponential(interarrivalTime)`. Крім того, у цьому блоці моделюється номер зупинки виходу кожного пасажиру у відповідності до матриці імовірностей міжзупинкових пасажирських кореспонденцій.

Блок `passQueue` представляє у моделі чергу пасажирів, що очікують посадки у транспортний засіб. Дисципліну черги приймаємо `RANDOM`, тобто пасажир виконує посадку у транспортний засіб у випадковому порядку, безвідносно до моменту їх надходження на зупинку. Максимальна довжина черги не обмежена. Параметр черги `timeoutTime` представляє собою час, по спливанні якої пасажир, який не здійснив посадки, переміщується у пріоритетну чергу, представлену блоком `passQueuePriority`. Таким чином, утворюється черга з «нетерплячих пасажирів», які природно мають більшу мотивацію сісти до транспортного засобу раніше за інших. Дисципліна пріоритетної черги також `RANDOM`.

Службові блоки `passHold` та `passQueueLast` реалізують процес формування множини пасажирів, що виконують посадку до транспортного засобу, який прибуває на зупинку. Перший з них виконує затримку пасажирів зі звичайної черги до повного звільнення пріоритетної черги, другий — визначає кількість вільних місць у салоні прибулого транспортного засобу та формує множину пасажирів для посадки таким чином: спочатку вільні місця у транспортному засобі заповнюються пасажирами з пріоритетної черги; якщо після цього ще є вільні місця, вони заповнюються пасажирами зі звичайної черги.

Блок `selectOutput` виконує перевірку номера маршруту прибулого транспортного засобу з точки входу `busIn` на умови виконання пасажирообміну. Якщо номер маршруту належить множині маршрутів `PassedRoutes`, транспор-

тний засіб переміщується до блоку `busQueue`. У протилежному випадку перевіряється належність маршруту до множини `NonStopRoutes`, у цьому випадку транспортний засіб переміщується до точки виходу `busOut`. Якщо ж маршрут не належить жодній з цих двох множин, генерується повідомлення про помилку.

Блок `busQueue` моделює чергу транспортних одиниць, що очікують під'їзду до зупинки. Дисципліна черги FIFO (першим надійшов — першим вийшов). Максимальна місткість черги визначається параметром `MaxWaitBus`.

Блок `passDown` моделює процес виходу пасажирів з салону транспортного засобу, виконуючи коригування кількості вільних місць у салоні у відповідності до кількості пасажирів, що вийшли на даній зупинці. Пасажири, що залишили транспортний засіб, переміщуються до блоку `passSink`, де перед вилученням з моделі для кожного з них фіксується підсумкова статистика — сумарний час перебування у системі (час, який дорівнює тривалості очікування та тривалості поїздки у транспорті).

Блоки `busDelayDown` та `busDelayUp` імітують затримку транспортних одиниць, що пов'язана відповідно з висадкою та посадкою пасажирів. У кожному з цих блоків транспортна одиниця затримується на величину, яка дорівнює результату множення кількості пасажирів що увійшли або вийшли на норму тривалості посадки-висадки `InOutTime`. Сам же параметр `InOutTime` змінюється у відповідності до типу транспортної одиниці (кількості дверей для виконання пасажирообміну) та величини коефіцієнту завантаження її салону.

Блок `passUp` моделює процес посадки пасажирів у салон транспортного засобу, виконуючи коригування кількості вільних місць у салоні у відповідності до кількості пасажирів, що увійшли на даній зупинці. Пасажири, що увійшли до транспортного засобу, переміщуються разом з ним через блок `busDelayUp` до точки виходу `busOut`.

Для реалізації функціональної логіки у моделі проміжної зупинки використовуються такі процедури і функції (слайди 5 та 6 презентації).

Процедура *void queuePrepare (Entity e)* готує множину пасажирів для посадки у транспортний засіб з черги *passQueueLast*. Процедура розраховує кількість вільних місць у салоні прибулого транспортного засобу як різницю між його пасажиромісткістю та кількістю пасажирів у салоні та встановлює максимально можливе значення довжини черги *passQueueLast* рівним цій кількості. Після цього перевіряється, чи не перевищує кількість пасажирів у черзі кількість вільних місць у салоні транспортного засобу, і якщо це так, розблоковує блок *passHold*, надаючи можливість пасажирам зі звичайної черги виконати посадку у транспортний засіб до повного заповнення вільних місць. Блок-схема роботи процедури наведена на рисунку 2.3.

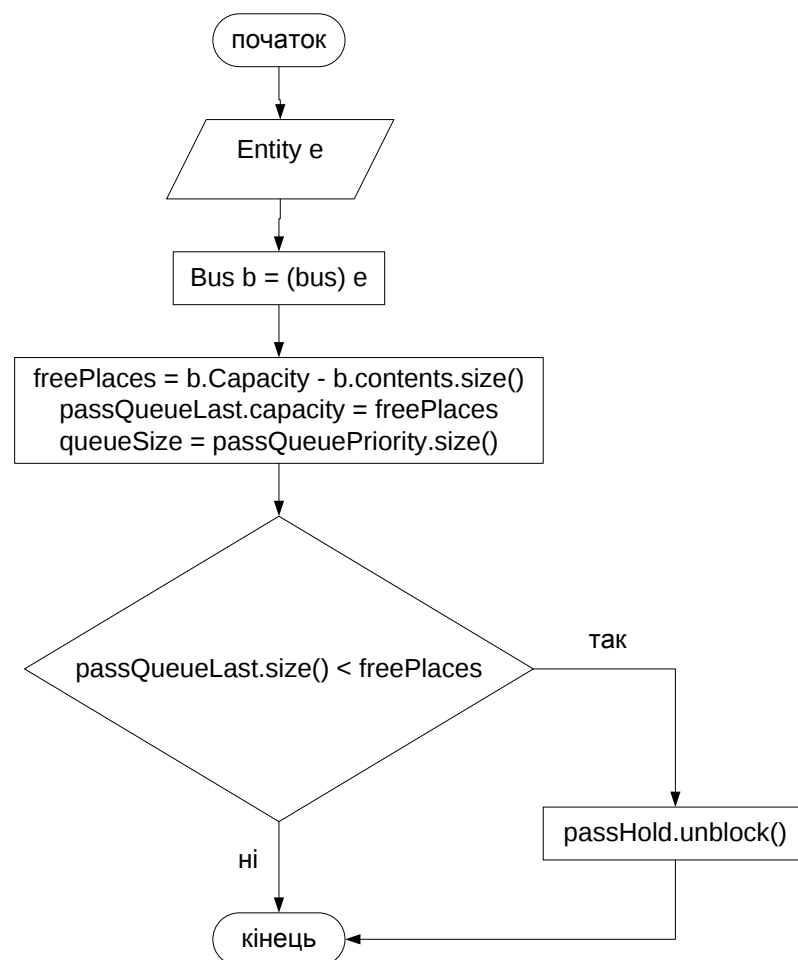


Рисунок 2.3 — Блок-схема процедури *queuePrepare*

Функція *boolean IsStop (bus b)* перевіряє, чи зупиняється транспортний засіб, що надійшов до зупинки, на ній. Функція перевіряє належність номеру маршруту транспортного засобу *RouteID* на належність множині *NonStopRoutes*. Повертає значення «невірно», якщо номер маршруту належить множині *NonStopRoutes* чи «вірно» у протилежному випадку (рисунок 2.4).

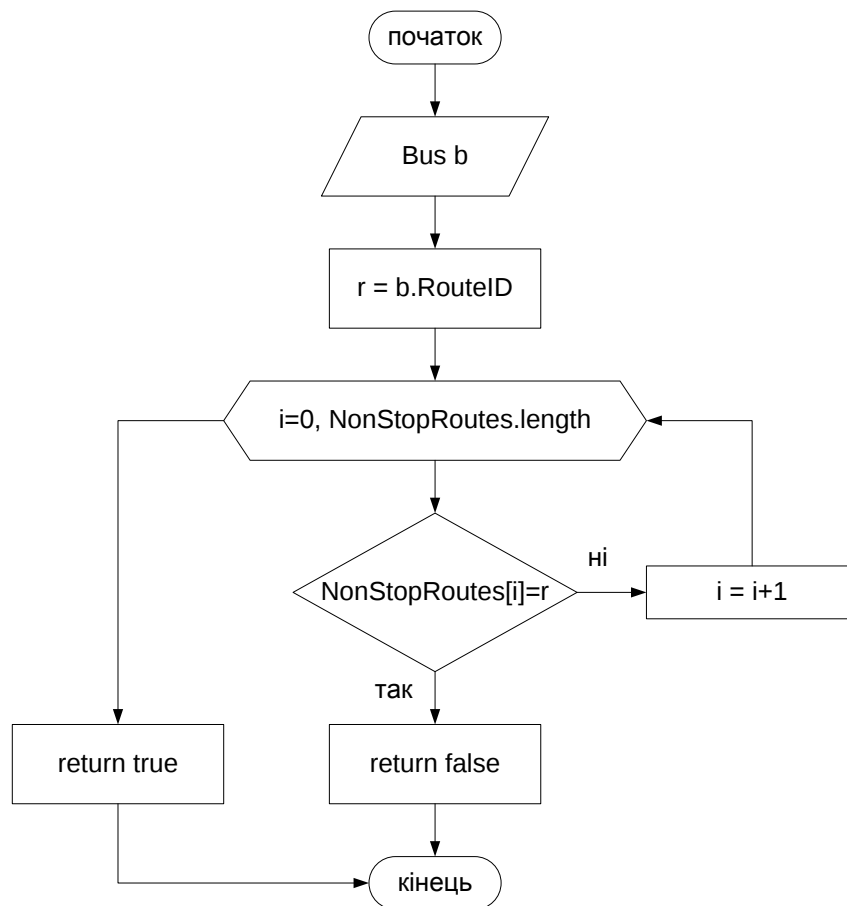


Рисунок 2.4 — Блок-схема функції *IsStop*

Процедура *void colorBusUpdate (bus b)* оновлює колір транспортної одиниці у відповідності до ступеня її наповнення. При наповненні салону до 25% пасажиромісць транспортна одиниця має білий колір, 25–50% — зелений колір, 50%–75% — червоний колір, понад 75% — фіолетовий колір. Таке представлення транспортних одиниць у моделі спрощує її сприйняття при візуалізації процесу моделювання.

Процедура `void setStopTable (int iStopID)` ініціалізує матрицю міжзупинкових імовірностей пасажирських кореспонденцій для даної зупинки. Вихідні дані імпортуються за допомогою запиту SQL з зовнішнього джерела даних *MyDataSource*, яке представляє собою двовимірну область робочого листа Microsoft Excel. У першому стовпчику цієї таблиці містяться номери (*StopID*) зупинок входу, у другому – номери зупинок виходу, у третьому — імовірність того, що пасажир, який зайшов на зупинці входу з певним номером виконає поїздку до зупинки з певним номером. Результатом роботи процедури є отримання таблиці *tripTable* типу *Matrix* (рисунок 2.5).

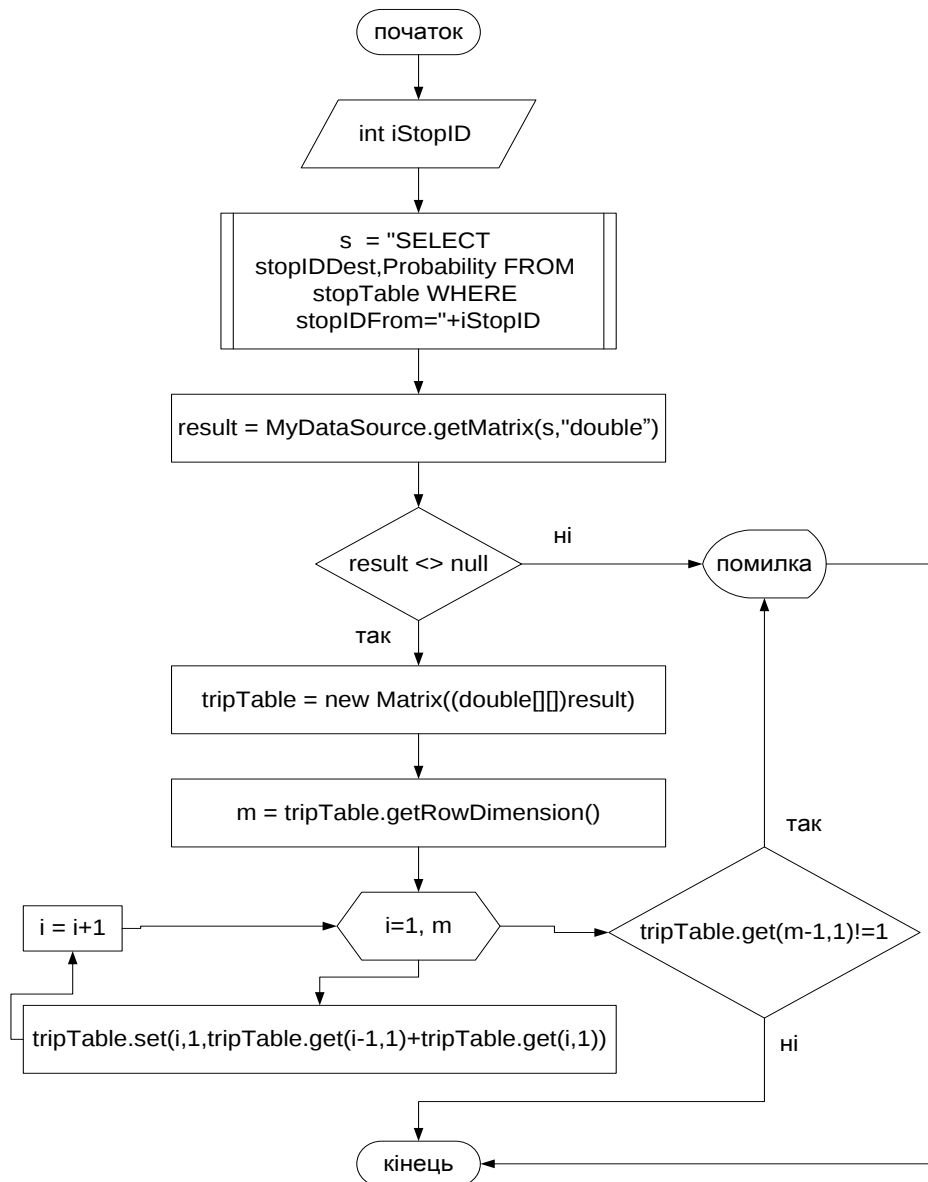


Рисунок 2.5 — Блок-схема процедури `setStopTable`

Функція *int getStopIDDest()* моделює за матрицею імовірностей міжзупинкових пасажирських кореспонденцій зупинку виходу для пасажирів та повертає номер *StopID* цієї зупинки. Для моделювання використовується рівномірний закон розподілу і перетворена таблиця *tripTable*, для кожної з зупинок якої міститься інтегральний закон розподілу імовірностей зупинок виходу (рисунок 2.6).

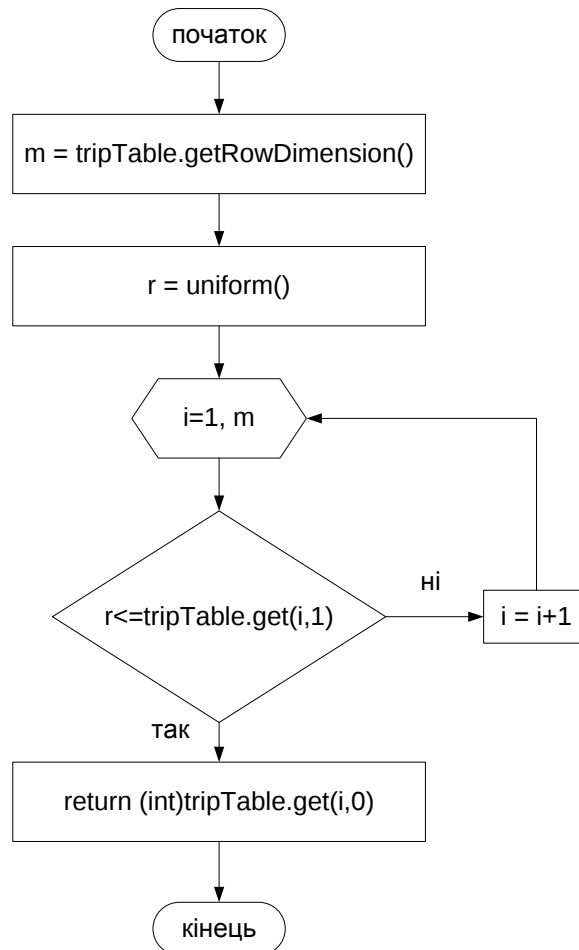


Рисунок 2.6 — Блок-схема функції *getStopIDDest*

Процедура *setStopTable* викликається одноразово — при ініціалізації зупинки у складі моделі безпосередньо перед її прогоном. Інші функції використовуються у різні моменти моделювання різними блоками моделі зупинки.

2.2.2 Модель кінцевих зупиночних пунктів

Модель кінцевого зупиночного пункту у середовищі імітаційного моделювання ANYLOGIC наведена на рисунку 2.7 та складається 4 блоків (генератор транспортних одиниць BusGenerate), допоміжний блок-утримувач (busHold), черга з транспортних одиниць, що очікують виходу на маршрут (busQueue) та блок затримки транспортних одиниць на міжрейсовий відпочинок (busDelay).

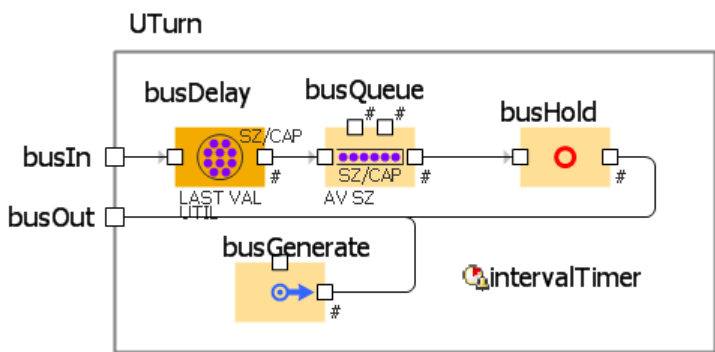


Рисунок 2.7 — Структурна модель кінцевого зупиночного пункту

Вхідні параметри моделі кінцевого зупиночного пункту наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Параметри моделі кінцевого зупиночного пункту

Ідентифікатор	Тип параметру	Опис параметру
RouteID	integer	номер маршруту, для якого ця зупинка є кінцевою
MinDelayTime	real	мінімальний час міжрейсового відстою рухомого складу на кінцевій зупинці
interval	real (dynamic)	інтервал випуску рухомого складу на маршрут
busCapacity	integer	місткість рухомого складу при його введенні у дію та випуску на маршрут

Продовження таблиці 2.2.

Ідентифікатор	Тип параметру	Опис параметру
baseStop	boolean	1 (істина), якщо кінцева зупинка є базовою. Базовою будемо називати зупинку, на якій можливі диспетчерські впливи на процес роботи рухомого складу. Тобто, у випадку, коли підійшов момент випуску чергової транспортної одиниці, а на кінцевій зупинці рухомого складу немає, на маршрут виводиться резервна одиниця. Якщо ж baseStop дорівнює 0 (неправда), то у цьому випадку можливість випуску чергової транспортної одиниці визначається наявністю на кінцевій зупинці вільних транспортних засобів.

Блок busGenerate моделює випуск на маршрут нової одиниці рухомого складу у випадку, коли на кінцевій зупинці прибулого транспорту немає, момент випуску настав та параметр *baseStop* дорівнює 1. Для нової транспортної одиниці встановлюється пасажиромісткість у *busCapacity* пасажирів.

Блок busQueue моделює чергу з транспортних одиниць, які очікують випуску на маршрут з міжрейсового відстою. Дисципліна черги FIFO, максимальна довжина черги необмежена.

Блок busDelay моделює міжрейсовий відстій транспортних одиниць, затримуючи їх на час, що дорівнює *MinDelayTime*.

Циклічний таймер intervalTimer реалізує логіку випуску транспортних одиниць на маршрут з заданим інтервалом *interval*. Блок-схема реалізації дій при спрацьовування таймера наведена на рисунку 2.8 та слайді 7 презентації.

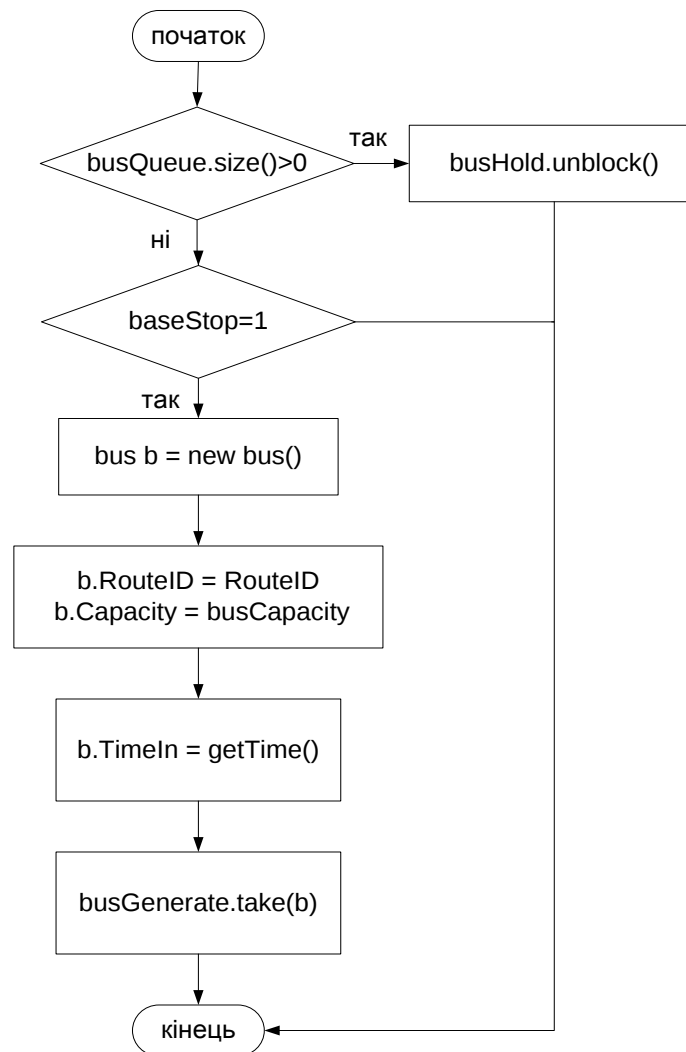


Рисунок 2.8 — Реалізація дій при спрацьовуванні таймера *intervalTimer*.

Реалізація моделі кінцевої зупинки дозволяє використовувати цей блок не лише у моделях маятникових маршрутів, але й на кільцевих маршрутах. Користувач блоку повинен сам потурбуватися про розміщення кінцевих зупинок при розробці моделі маршруту.

2.2.3 Модель ізольованого автобусного маршруту

Модель ізольованого маршруту будується з використанням раніше розроблених блоків **UTurn** та **BusStop**, які позначають, відповідно, кінцеві та проміжні зупинки.

Побудову моделі ізольованого автобусного маршруту покажемо на прикладі міського автобусного маршруту міста Запоріжжя №47 «вул. Зачиняєва – вул. Розенталь – вул. Зачиняєва» (рисунки 2.9, 2.10, слайди 2 та 3 презентації).

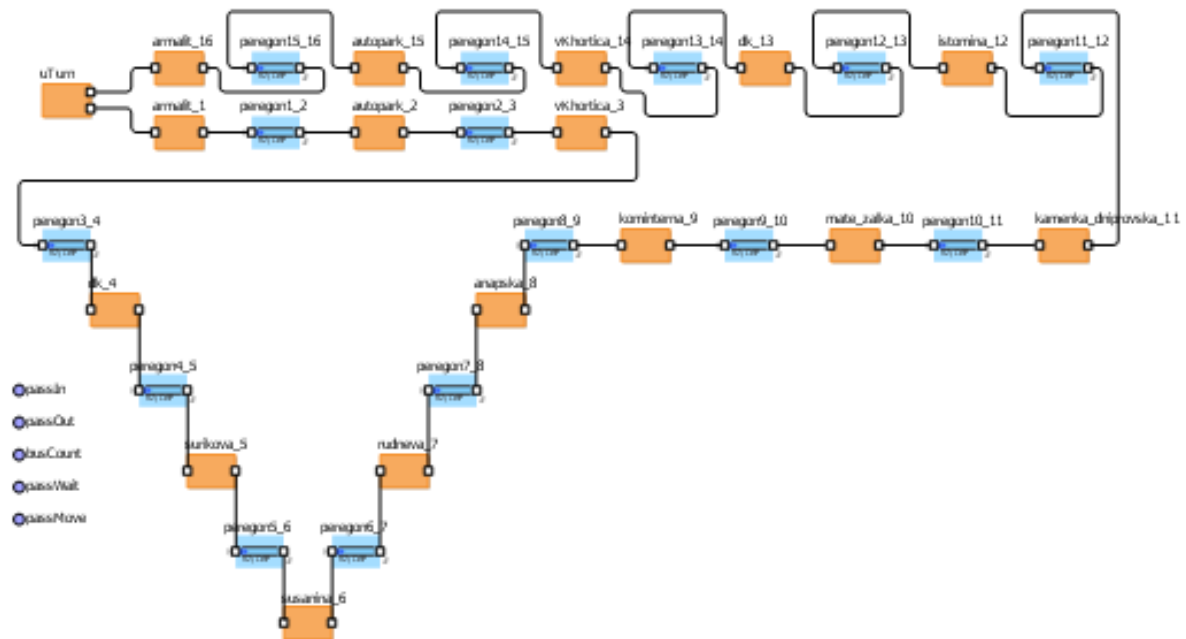


Рисунок 2.9 — Структура моделі маршруту №47

Оскільки маршрут №47 є півкільцевим, то він буде мати лише одну кінцеву зупинку та 16 проміжних зупинок, які з'єднані 15 перегонами. Для моделювання руху автобуса перегonom використовуємо елемент *Lane* бібліотеки *Enterprise Library*. Цей елемент має такі параметри, які використовуються у моделі маршруту:

- 1) *Length* — довжина перегону у модельних одиницях довжини. Для всієї моделі приймаємо одиницю модельної довжини у 1 м.;
- 2) *Space* — мінімальна відстань між транспортними одиницями, які рухаються перегonom. Приймаємо *Space* = 10 м;
- 3) *Speed* — швидкість руху транспортної одиниці перегonom у одиницях модельної довжини поділених на одиницю модельного часу. Для всієї моделі приймаємо одиницю модельного часу у 1 хвилину;
- 4) *Capacity* — кількість транспортних одиниць, які одночасно можуть знаходитись на перегоні між зупинками. Приймаємо *Capacity* = 100 одиниць;

5) *Overtake* — логічний параметр, який визначає, чи можуть транспортні одиниці обганяти одна одну (*Overtake* = *true*) чи не можуть (*Overtake* = *false*). Для всіх перегонів приймаємо *Overtake* = *true*.

Система імітаційного моделювання AnyLogic представляє достатньо гнучкі способи анімації моделі. Вікно анімації моделі показано на рисунку 2.10 та на слайді 8 презентації.



Рисунок 2.10 — Вікно анімації моделі автобусного маршруту №47

Ліворуч розміщено карту маршруту з нанесеними на ній зупинками та перегонами. Праворуч розміщено елементи управління, які мають призначення змінювати такі параметри моделювання під час прогону моделі: технічну швидкість руху, місткість рухомого складу, інтервал руху на маршруті. Під ними розміщено статистичні дані про кількість рухомого складу на маршруті; кількість пасажирів, що надійшли до транспортної системи; кількість пасажирів, які очікують на посадку у транспорт на зупинках; кількість перевезених пасажирів; кількість пасажирів, що у даний час рухаються у транспорті.

Модель дозволяє отримувати в процесі моделювання низку статистичних показників, таких як тривалість очікування пасажиром посадки у транспортний засіб, тривалість повного обслуговування пасажирів у транспортній системі, імовірність відмови пасажирів у посадці на зупинці через переповнення рухомого складу, середню довжину черги з пасажирів на кожній зупинці маршруту та в середньому для всього маршруту за різної кількості рухомого складу на маршруті, технічної швидкості та інтервалу руху автобусів. В процесі моделювання заповнення рухомого складу та довжину черг на зупинках зручно представити різними кольорами: білий — мінімальне завантаження, жовтий – завантаження до 25%, зелений — завантаження до 50%, червоний — завантаження до 75%, фіолетовий — завантаження до 100%. Це дозволяє більш наочно досліджувати показники функціонування маршруту під час моделювання та при зміні вихідних параметрів моделі.

Моделі, які розроблені у системі моделювання AnyLogic мають високу наочність, можливість зміни параметрів моделювання під час моделювання, проводити різні види експериментів, такі як:

- експерименти, пов'язані з варіюванням параметрів моделі з метою дослідження впливу окремих вхідних факторів (параметрів) на один чи декілька вихідних (результуючих) параметрів;
- оптимізаційні експерименти, які дозволяють знайти значення одного чи декількох вхідних параметрів, за яких досягається максимальне чи мінімальне значення деякої цільової функції, побудованої на окремих вихідних параметрах чи їх комбінації.

2.3 Проведення експериментів на моделі

Вихідними даними для моделювання міських транспортних систем є: технічна швидкість руху транспортних одиниць, пасажиромісткість транспортних одиниць, інтервал руху транспортних одиниць, інтенсивність надходження

пасажирів до зупинки. Якщо перші три параметри у моделі можна покласти детермінованими та визначеними наперед, то інтенсивність надходження пасажирів на зупинку є величиною нестаціонарною, такою, що змінюється у часі. Тому першим етапом підготовки вихідних даних до моделювання є розробка математичної моделі пасажиропотоків.

2.3.1 Математичне моделювання пасажиропотоків

При періодичних коливаннях досліджуваного показника функцію його зміни у часі подають нескінченим рядом синусоїдних і косинусоїдних функцій з певним періодом (рядом Фур'є).

Кожний член суми являє собою гармоніку, причому період першої гармоніки дорівнює повній довжині заданого основного періоду, другої — половині основного періоду, третьої — одній третині основного періоду і т.д.

Якщо величину змінювання часу t_k від t_1 до t_n прийняти за довжину основного періоду, то задані значення гармонік можна подати як частини довжини кола

$$1\frac{2\pi}{n}, \quad 2\frac{2\pi}{n}, \quad \dots, k\frac{2\pi}{n}, \quad \dots, n\frac{2\pi}{n}. \quad (2.1)$$

У загальному випадку, якщо є n спостережень, то кількість гармонік k не перевищує $m = \frac{n}{2}$. Відповідні їм значення функції записуються сумою

$$\tilde{y}_t = a_0 + \sum_{k=1}^{m=\frac{n}{2}} a_k \sin\left(\frac{2\pi}{n}kt\right) + b_k \cos\left(\frac{2\pi}{n}kt\right), \quad (2.2)$$

де n — повний період (загальна кількість спостережень);

k — номер гармоніки.

За допомогою методу найменших квадратів невизначені коефіцієнти ряду Фур'є обчислюють за формулами:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k ; \quad (2.3)$$

$$a_k = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^n y_k \sin \left(\frac{2\pi}{n} kt \right) ; \quad (2.4)$$

$$b_k = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^n y_k \cos \left(\frac{2\pi}{n} kt \right) . \quad (2.5)$$

Розділимо ефективний період доби, у який виконуються пасажирські перевезення, на 18 частин (з 6:00 до 24:00). Тоді для окремих годинних періодів величина змінної $z = \frac{2\pi}{n}t$ у формулах (2.4) та (2.5) набуває значень, які наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Величина змінної z

Період часу t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Величина змінної $z = \frac{2\pi}{n}t$	$\frac{\pi}{9}$	$\frac{2\pi}{9}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{4\pi}{9}$	$\frac{5\pi}{9}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{7\pi}{9}$	$\frac{8\pi}{9}$	π	$\frac{10\pi}{9}$	$\frac{11\pi}{9}$	$\frac{4\pi}{3}$	$\frac{13\pi}{9}$	$\frac{14\pi}{9}$	$\frac{5\pi}{3}$	$\frac{16\pi}{9}$	$\frac{17\pi}{9}$	2π

Приймаючи кількість гармонік $k = 1, 2, 3, \dots$ визначають всі значення $\sin(kz)$ і $\cos(kz)$ (табл. 2.4).

Наприклад, перша гармоніка ряду Фур'є

$$\tilde{y}_1 = a_0 + a_1 \sin(z) + b_1 \cos(z),$$

$$\text{де } a_0 = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{18}; \quad a_1 = \frac{\sum_{t=1}^n y_t \sin(z)}{9}; \quad b_1 = \frac{\sum_{t=1}^n y_t \cos(z)}{9}.$$

Таблиця 2.4 — Значення $\sin(kz)$ і $\cos(kz)$ для $m = 9$ гармонік

t	$\sin(kz)$									$\cos(kz)$								
	k									k								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,342	0,643	0,866	0,985	0,985	0,866	0,643	0,342	0,000	0,940	0,766	0,500	0,174	-0,174	-0,500	-0,766	-0,940	-1,000
2	0,643	0,985	0,866	0,342	-0,342	-0,866	-0,985	-0,643	0,000	0,766	0,174	-0,500	-0,940	-0,940	-0,500	0,174	0,766	1,000
3	0,866	0,866	0,000	-0,866	-0,866	0,000	0,866	0,866	0,000	0,500	-0,500	-1,000	-0,500	0,500	1,000	0,500	-0,500	-1,000
4	0,985	0,342	-0,866	-0,643	0,643	0,866	-0,342	-0,985	0,000	0,174	-0,940	-0,500	0,766	0,766	-0,500	-0,940	0,174	1,000
5	0,985	-0,342	-0,866	0,643	0,643	-0,866	-0,342	0,985	0,000	-0,174	-0,940	0,500	0,766	-0,766	-0,500	0,940	0,174	-1,000
6	0,866	-0,866	0,000	0,866	-0,866	0,000	0,866	-0,866	0,000	-0,500	-0,500	1,000	-0,500	-0,500	1,000	-0,500	-0,500	1,000
7	0,643	-0,985	0,866	-0,342	-0,342	0,866	-0,985	0,643	0,000	-0,766	0,174	0,500	-0,940	0,940	-0,500	-0,174	0,766	-1,000
8	0,342	-0,643	0,866	-0,985	0,985	-0,866	0,643	-0,342	0,000	-0,940	0,766	-0,500	0,174	0,174	-0,500	0,766	-0,940	1,000
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-1,000	1,000	-1,000	1,000	-1,000	1,000	-1,000	1,000	-1,000
10	-0,342	0,643	-0,866	0,985	-0,985	0,866	-0,643	0,342	0,000	-0,940	0,766	-0,500	0,174	0,174	-0,500	0,766	-0,940	1,000
11	-0,643	0,985	-0,866	0,342	0,342	-0,866	0,985	-0,643	0,000	-0,766	0,174	0,500	-0,940	0,940	-0,500	-0,174	0,766	-1,000
12	-0,866	0,866	0,000	-0,866	0,866	0,000	-0,866	0,866	0,000	-0,500	-0,500	1,000	-0,500	-0,500	1,000	-0,500	-0,500	1,000
13	-0,985	0,342	0,866	-0,643	-0,643	0,866	0,342	-0,985	0,000	-0,174	-0,940	0,500	0,766	-0,766	-0,500	0,940	0,174	-1,000
14	-0,985	-0,342	0,866	0,643	-0,643	-0,866	0,342	0,985	0,000	0,174	-0,940	-0,500	0,766	0,766	-0,500	-0,940	0,174	1,000
15	-0,866	-0,866	0,000	0,866	0,866	0,000	-0,866	-0,866	0,000	0,500	-0,500	-1,000	-0,500	0,500	1,000	0,500	-0,500	-1,000
16	-0,643	-0,985	-0,866	-0,342	0,342	0,866	0,985	0,643	0,000	0,766	0,174	-0,500	-0,940	-0,940	-0,500	0,174	0,766	1,000
17	-0,342	-0,643	-0,866	-0,985	-0,985	-0,866	-0,643	-0,342	0,000	0,940	0,766	0,500	0,174	-0,174	-0,500	-0,766	-0,940	-1,000
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Ряд Фур'є з двома гармоніками має вигляд

$$\tilde{y}_1 = a_0 + a_1 \sin(z) + b_1 \cos(z) + a_2 \sin(2z) + b_2 \cos(2z).$$

$$\text{Тут } a_2 = \frac{\sum_{t=1}^n y_t \sin(2z)}{9}; \quad b_2 = \frac{\sum_{t=1}^n y_t \cos(2z)}{9}.$$

Кількість гармонік k , які включаються в математичну модель, визначається мінімальним значенням основної похибки моделі

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \tilde{y}_t)^2}{n-1}}, \quad (2.6)$$

де y_t — фактичні значення показника;

$\tilde{y}_t$ — теоретичні значення показника, обчислені з використанням гармонічного ряду (2.2);

n — кількість спостережень.

Покажемо моделювання кореспонденцій для маршруту №47 на прикладі зупинки «Завод «Армаліт». Результати обстеження пасажиропотоку на цій зупинці за період часу 6:00–24:00 буднього дня тижня наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 — Результати обстеження пасажиропотоку на зупинці «Завод «Армаліт» по годинах доби

Години доби	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
Кількість пасажирів, чол.	58	31	11	39	23	19	9	10	11	22	22	21	34	19	11	6	6	0

Спочатку обчислюємо параметр α_0 за формулою (2.3)

$$\alpha_0 = \frac{1}{18} \sum_{t=1}^n y_t = \frac{352}{18} = 19,56.$$

Подальший розрахунок наведений у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 — Розрахунок параметрів гармонічного ряду

k	Складові функції	Періоди часу t																		a _k	b _k	σ _k
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
1	$y_t \sin(kt)$	19,84	19,93	9,53	38,41	22,65	16,45	5,79	3,42	0,00	-7,52	-14,14	-18,19	-33,48	-18,71	-9,53	-3,86	-2,05	0,00	3,17	1,65	13,89
	$y_t \cos(kt)$	54,50	23,75	5,50	6,77	-3,99	-9,50	-6,89	-9,40	-11,00	-20,67	-16,85	-10,50	-5,90	3,30	5,50	4,60	5,64	0,00			
	$a_1 \sin(kt)$	1,08	2,04	2,74	3,12	3,12	2,74	2,04	1,08	0,00	-1,08	-2,04	-2,74	-3,12	-3,12	-2,74	-2,04	-1,08	0,00			
	$b_1 \cos(kt)$	1,55	1,26	0,82	0,29	-0,29	-0,82	-1,26	-1,55	-1,65	-1,55	-1,26	-0,82	-0,29	0,29	0,82	1,26	1,55	1,65			
	$\tilde{y}_1$	22,19	22,86	23,13	22,97	22,40	21,48	20,33	19,09	17,91	16,93	16,26	15,99	16,15	16,72	17,64	18,79	20,03	21,21			
	$y_t - \tilde{y}_1$	35,81	8,14	-12,13	16,03	0,60	-2,48	-11,33	-9,09	-6,91	5,07	5,74	5,01	17,85	2,28	-6,64	-12,79	-14,03	-21,21			
2	$y_t \sin(kt)$	37,28	30,53	9,53	13,34	-7,87	-16,45	-8,86	-6,43	0,00	14,14	21,67	18,19	11,63	-6,50	-9,53	-5,91	-3,86	0,00	10,1	-4,75	11,27
	$y_t \cos(kt)$	44,43	5,38	-5,50	-36,65	-21,61	-9,50	1,56	7,66	11,00	16,85	3,82	-10,50	-31,95	-17,85	-5,50	1,04	4,60	0,00			
	$a_1 \sin(kt)$	6,49	9,95	8,75	3,45	-3,45	-8,75	-9,95	-6,49	0,00	6,49	9,95	8,75	3,45	-3,45	-8,75	-9,95	-6,49	0,00			
	$b_1 \cos(kt)$	-3,64	-0,82	2,37	4,46	4,46	2,37	-0,82	-3,64	-4,75	-3,64	-0,82	2,37	4,46	4,46	2,37	-0,82	-3,64	-4,75			
	$\tilde{y}_1$	25,05	31,98	34,25	30,88	23,40	15,11	9,56	8,97	13,16	19,78	25,38	27,11	24,07	17,73	11,27	8,02	9,90	16,46			
	$y_t - \tilde{y}_1$	32,95	-0,98	-23,25	8,12	-0,40	3,89	-0,56	1,03	-2,16	2,22	-3,38	-6,11	9,93	1,27	-0,27	-2,02	-3,90	-16,46			
3	$y_t \sin(kt)$	50,23	26,85	0,00	-33,77	-19,92	0,00	7,79	8,66	0,00	-19,05	-19,05	0,00	29,44	16,45	0,00	-5,20	-5,20	0,00	4,14	2,17	10,74
	$y_t \cos(kt)$	29,00	-15,50	-11,00	-19,50	11,50	19,00	4,50	-5,00	-11,00	-11,00	11,00	21,00	17,00	-9,50	-11,00	-3,00	3,00	0,00			
	$a_1 \sin(kt)$	3,58	3,58	0,00	-3,58	-3,58	0,00	3,58	3,58	0,00	-3,58	-3,58	0,00	3,58	3,58	0,00	-3,58	-3,58	0,00			
	$b_1 \cos(kt)$	1,08	-1,08	-2,17	-1,08	1,08	2,17	1,08	-1,08	-2,17	-1,08	1,08	2,17	1,08	-1,08	-2,17	-1,08	1,08	2,17			
	$\tilde{y}_1$	29,72	34,48	32,08	26,22	20,90	17,27	14,23	11,47	11,00	15,12	22,88	29,28	28,73	20,23	9,10	3,35	7,40	18,63			
	$y_t - \tilde{y}_1$	28,28	-3,48	-21,08	12,78	2,10	1,73	-5,23	-1,47	0,00	6,88	-0,88	-8,28	5,27	-1,23	1,90	2,65	-1,40	-18,63			
4	$y_t \sin(kt)$	57,12	10,60	-9,53	-25,07	14,78	16,45	-3,08	-9,85	0,00	21,67	7,52	-18,19	-21,85	12,21	9,53	-2,05	-5,91	0,00	6,04	2,31	9,66
	$y_t \cos(kt)$	10,07	-29,13	-5,50	29,88	17,62	-9,50	-8,46	1,74	11,00	3,82	-20,67	-10,50	26,05	14,55	-5,50	-5,64	1,04	0,00			
	$a_1 \sin(kt)$	5,95	2,07	-5,23	-3,88	3,88	5,23	-2,07	-5,95	0,00	5,95	2,07	-5,23	-3,88	3,88	5,23	-2,07	-5,95	0,00			
	$b_1 \cos(kt)$	0,40	-2,18	-1,16	1,78	1,78	-1,16	-2,18	0,40	2,32	0,40	-2,18	-1,16	1,78	1,78	-1,16	-2,18	0,40	2,32			
	$\tilde{y}_1$	36,07	34,37	25,69	24,11	26,56	21,35	9,99	5,92	13,32	21,47	22,77	22,89	26,63	25,89	13,17	-0,90	1,85	20,95			
	$y_t - \tilde{y}_1$	21,93	-3,37	-14,69	14,89	-3,56	-2,35	-0,99	4,08	-2,32	0,53	-0,77	-1,89	7,37	-6,89	-2,17	6,90	4,15	-20,95			

Продовження таблиці 2.6

k	Складові функції	Періоди часу t																		a_k	b_k	σ_k
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
5	$y_t \sin(kt)$	57.12	-10.60	-9.53	25.07	14.78	-16.45	-3.08	9.85	0.00	-21.67	7.52	18.19	-21.85	-12.21	9.53	2.05	-5.91	0.00	4,76	-3,38	8,67
	$y_t \cos(kt)$	-10.07	-29.13	5.50	29.88	-17.62	-9.50	8.46	1.74	-11.00	3.82	20.67	-10.50	-26.05	14.55	5.50	-5.64	-1.04	0.00			
	$a_1 \sin(kt)$	4.68	-1.63	-4.12	3.06	3.06	-4.12	-1.63	4.68	0.00	-4.68	1.63	4.12	-3.06	-3.06	4.12	1.63	-4.68	0.00			
	$b_1 \cos(kt)$	0.59	3.18	-1.69	-2.59	2.59	1.69	-3.18	-0.59	3.38	-0.59	-3.18	1.69	2.59	-2.59	-1.69	3.18	0.59	-3.38			
	$\tilde{y}_1$	41.34	35.92	19.88	24.58	32.21	18.92	5.19	10.02	16.70	16.20	21.22	28.70	26.16	20.24	15.60	3.90	-2.25	17.57			
	$y_t - \tilde{y}_1$	16.66	-4.92	-8.88	14.42	-9.21	0.08	3.81	-0.02	-5.70	5.80	0.78	-7.70	7.84	-1.24	-4.60	2.10	8.25	-17.57			
6	$y_t \sin(kt)$	50.23	-26.85	0.00	33.77	-19.92	0.00	7.79	-8.66	0.00	19.05	-19.05	0.00	29.44	-16.45	0.00	5.20	-5.20	0.00	5,48	-7,39	5,52
	$y_t \cos(kt)$	-29.00	-15.50	11.00	-19.50	-11.50	19.00	-4.50	-5.00	11.00	-11.00	-11.00	21.00	-17.00	-9.50	11.00	-3.00	-3.00	0.00			
	$a_1 \sin(kt)$	4.75	-4.75	0.00	4.75	-4.75	0.00	4.75	-4.75	0.00	4.75	-4.75	0.00	4.75	-4.75	0.00	4.75	-4.75	0.00			
	$b_1 \cos(kt)$	3.69	3.69	-7.39	3.69	3.69	-7.39	3.69	3.69	-7.39	3.69	3.69	-7.39	3.69	3.69	-7.39	3.69	3.69	-7.39			
	$\tilde{y}_1$	49.78	34.86	12.49	33.02	31.15	11.53	13.63	8.96	9.31	24.64	20.16	21.31	34.61	19.19	8.21	12.35	-3.30	10.18			
	$y_t - \tilde{y}_1$	8.22	-3.86	-1.49	5.98	-8.15	7.47	-4.63	1.04	1.69	-2.64	1.84	-0.31	-0.61	-0.19	2.79	-6.35	9.30	-10.18			
7	$y_t \sin(kt)$	37.28	-30.53	9.53	-13.34	-7.87	16.45	-8.86	6.43	0.00	-14.14	21.67	-18.19	11.63	6.50	-9.53	5.91	-3.86	0.00	1,0	-4,93	4,12
	$y_t \cos(kt)$	-44.43	5.38	5.50	-36.65	21.61	-9.50	-1.56	7.66	-11.00	16.85	-3.82	-10.50	31.95	-17.85	5.50	1.04	-4.60	0.00			
	$a_1 \sin(kt)$	0.65	-0.99	0.87	-0.35	-0.35	0.87	-0.99	0.65	0.00	-0.65	0.99	-0.87	0.35	0.35	-0.87	0.99	-0.65	0.00			
	$b_1 \cos(kt)$	3.78	-0.86	-2.47	4.64	-4.64	2.47	0.86	-3.78	4.93	-3.78	0.86	2.47	-4.64	4.64	-2.47	-0.86	3.78	-4.93			
	$\tilde{y}_1$	54.21	33.01	10.90	37.31	26.17	14.87	13.49	5.83	14.25	20.21	22.01	22.90	30.32	24.17	4.87	12.49	-0.17	5.25			
	$y_t - \tilde{y}_1$	3.79	-2.01	0.10	1.69	-3.17	4.13	-4.49	4.17	-3.25	1.79	-0.01	-1.90	3.68	-5.17	6.13	-6.49	6.17	-5.25			
8	$y_t \sin(kt)$	19.84	-19.93	9.53	-38.41	22.65	-16.45	5.79	-3.42	0.00	7.52	-14.14	18.19	-33.48	18.71	-9.53	3.86	-2.05	0.00	-3,48	-4,23	1,03
	$y_t \cos(kt)$	-54.50	23.75	-5.50	6.77	3.99	-9.50	6.89	-9.40	11.00	-20.67	16.85	-10.50	5.90	3.30	-5.50	4.60	-5.64	0.00			
	$a_1 \sin(kt)$	-1.19	2.24	-3.02	3.43	-3.43	3.02	-2.24	1.19	0.00	-1.19	2.24	-3.02	3.43	-3.43	3.02	-2.24	1.19	0.00			
	$b_1 \cos(kt)$	3.98	-3.25	2.12	-0.74	-0.74	2.12	-3.25	3.98	-4.24	3.98	-3.25	2.12	-0.74	-0.74	2.12	-3.25	3.98	-4.24			
	$\tilde{y}_1$	57.00	32.00	10.00	40.01	22.00	20.01	8.01	11.00	10.01	23.01	21.01	22.01	33.01	20.00	10.00	7.00	5.00	1.01			

	$y_t - \tilde{y}_t$	1.00	-1.00	1.00	-1.01	1.00	-1.01	0.99	-1.00	0.99	-1.01	0.99	-1.01	0.99	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.01			
--	---------------------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	--	--	--

Продовження таблиці 2.6

k	Складові функції	Періоди часу t																		a_k	b_k	σ_k
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
9	$y_t \sin(kt)$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	-2,0	1,03
	$y_t \cos(kt)$	-58.00	31.00	-11.00	39.00	-23.00	19.00	-9.00	10.00	-11.00	22.00	-22.00	21.00	-34.00	19.00	-11.00	6.00	-6.00	0.00			
	$a_1 \sin(kt)$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	$b_1 \cos(kt)$	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00	2.00	-2.00			
	$\tilde{y}_1$	59.00	30.00	12.00	38.01	24.00	18.01	10.01	9.00	12.01	21.01	23.01	20.01	35.01	18.00	12.00	5.00	7.00	-0.99			
	$y_t - \tilde{y}_t$	-1.00	1.00	-1.00	0.99	-1.00	0.99	-1.01	1.00	-1.01	0.99	-1.01	0.99	-1.01	1.00	-1.00	1.00	-1.00	0.99			

Таким чином, математична модель динаміки зміни інтенсивності пасажиропотоку по годинах доби може бути записана у такому вигляді:

$$N(t) = 19,59 + 3,17 \sin(z) + 1,65 \cos(z) + 10,1 \sin(2z) - 4,75 \cos(2z) + \\ + 4,14 \sin(3z) + 2,17 \cos(3z) + 6,04 \sin(4z) + 2,31 \cos(4z) + \\ + 4,76 \sin(5z) - 3,38 \cos(5z) + 5,48 \sin(6z) - 7,39 \cos(6z) + \\ + 1,0 \sin(7z) - 4,93 \cos(7z) - 3,48 \sin(8z) - 4,23 \cos(8z) - \\ - 2\cos(9z),$$

$$\text{де } z = \frac{\pi}{9} t.$$

Графіки вихідних та змодельованих значень величини пасажиропотоку по годинах доби наведені на рисунку 2.11 та слайді 9 презентації.

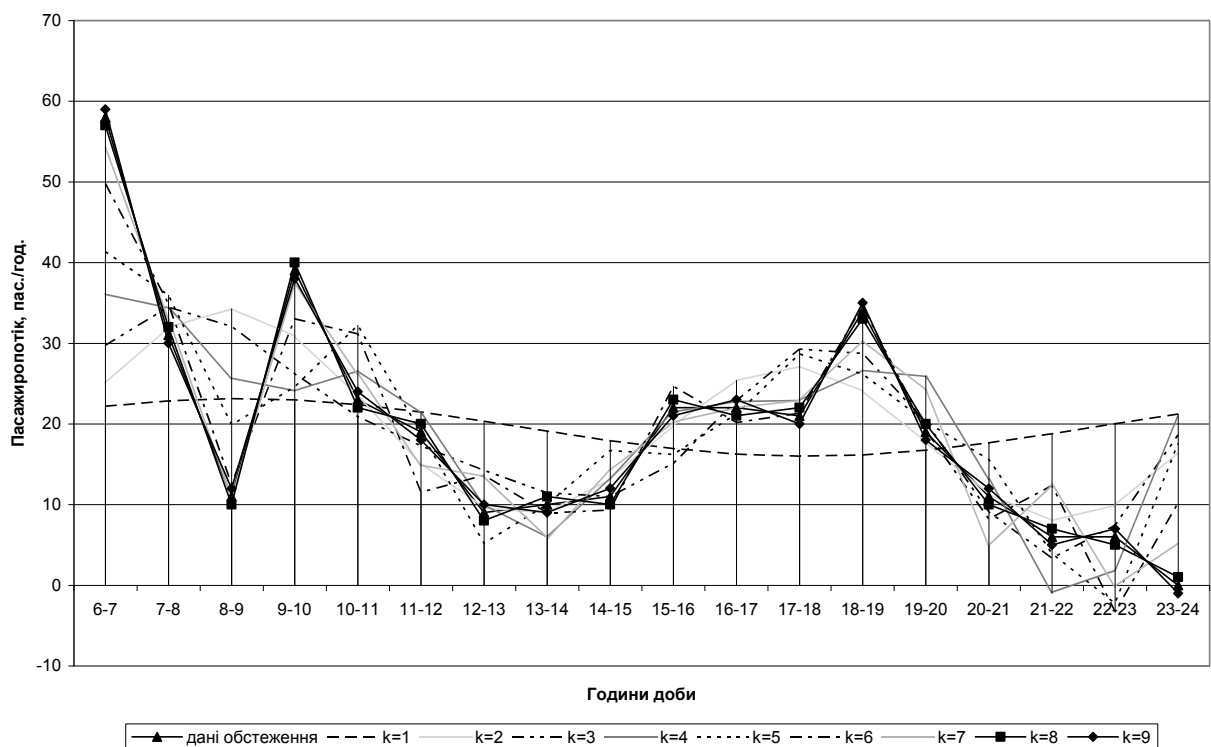


Рисунок 2.11 — Моделювання пасажиропотоку на зупинці
методом гармонічного аналізу

2.3.2 Математичне моделювання пасажирських кореспонденцій

Вичерпною характеристикою розподілу поїздок пасажирів за довжиною маршруту є матриця імовірностей міжзупинкових пасажирських кореспонденцій. Ця матриця будується на підставі матриці міжзупинкових пасажирських кореспонденцій.

Існує декілька методів обчислення елементів матриці міжзупинкових кореспонденцій. Основною інформацією для обчислення є кількість пасажирів, що увійшли та вийшли до автобусу на зупинках маршруту. У деяких з методів використовується додаткова інформація, інші засновані на припущеннях щодо поведінки пасажирів. Єдиним критерієм для порівняння цих методів є трудомісткість розрахунків. Дано постановку задачі розрахунку елементів матриці міжзупинкових пасажирських кореспонденцій та її розрахунок аналітичним методом.

Припустимо, що відома інформація про кількість пасажирів, що увійшли $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ та вийшли $(b_1, b_2, \dots, b_n)$ на кожній з зупинок маршруту. Позначимо як x_{ij} кількість пасажирів, кількість пасажирів, що проїхали від зупинки i до зупинки j з всіх пасажирів, що увійшли на зупинці i .

Нехай Q_r — наповнення автобусу на r -му перегоні, що визначається наступною залежністю

$$Q_r = Q_{r-1} - b_{r-1} + a_{r-1} = \sum_{i=0}^{r-1} (a_i - b_i), \quad (2.7)$$

де $r = \overline{1, n}$; a_{ij} — кількість пасажирів, що увійшли до автобуса на зупинці i та доїхали до зупинки j , тобто

$$a_{ij} = a_i - \sum_{r=i+1}^{j-1} x_{ir} \quad (2.8)$$

При розрахунках матриці міжзупинкової матриці пасажирських кореспонденцій аналітичним способом використовують формули

$$x_{ij} = \begin{cases} R_i \prod_{r=i+1}^{j-1} R_{r,r+1} b_j, & „ j > i + 1; \\ R_i b_j, & „ j = i + 1; \\ 0, & „ j = 0. \end{cases} \quad (2.9)$$

$$\text{де } R_i = \frac{a_i}{Q_{i+1}}; R_{i,i+1} = \frac{Q_i - b_i}{Q_{i+1}}.$$

Елементи матриці імовірностей пасажирських кореспонденцій знайдемо, розділивши елементи матриці міжзупинкових пасажирських кореспонденцій на сумарну кількість пасажирів у рядках.

У таблиці 2.7 наведені дані про кількість пасажирів, що увійшли та вийшли з транспортних одиниць на маршруті №47 за піковий період доби, отримані табличним методом обстеження пасажиропотоків.

Таблиця 2.7 — Кількість пасажирів, що увійшли та вийшли з рухомого складу на зупинках маршруту №47

Зупинка	Кількість пасажирів	
	увійшло	вийшло
Завод «Армаліт»	112	–
Автопарк	71	23
Верхня Хортиця	69	51
вул. Героїв 37-го Батальйону	26	44
вул. Сурікова	38	51
вул. Сусаніна	59	40
вул. Соняшникова	70	63
вул. Анапська	65	84

Продовження таблиці 2.7

Зупинка	Кількість пасажирів	
	увійшло	вийшло
вул. Розенталь	98	101
вул. П. Бузука	50	50
вул. Кам'янка-Дніпровська	64	34
вул. Істоміна	15	29
Будинок культури	24	15
Верхня Хортиця (1)	38	52
Автопарк (1)	51	77
Завод «Армаліт» (1)	–	136
Разом	850	850

Через велику трудомісткість розрахунків обчислюємо матрицю міжзупинкових пасажирських кореспонденцій на ЕОМ за програмою KORR. Результати розрахунку наведені у таблиці 2.8 та на слайді 10 презентації. Матриця імовірностей пасажирських кореспонденцій наведена у таблиці 2.9 та на слайді 11 презентації.

Таблиця 2.8 — Матриця міжзупинкових пасажирських кореспонденцій маршруту №47

Зупинки		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Разом
1	Завод «Армаліт»	0	23	28,4	15	14,5	8,5	8,6	6,8	4,7	0,8	0,4	0,2	0,1	0,3	0,3	0,4	112
2	Автопарк		0	22,6	12	11,6	6,7	6,9	5,4	3,8	0,7	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	71
3	Верхня Хортиця			0	17,1	16,6	9,6	9,8	7,8	5,4	0,9	0,4	0,2	0,1	0,3	0,4	0,4	69
4	вул. Героїв 37 Бат.				0	8,3	4,8	4,9	3,9	2,7	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	26
5	вул. Сурікова					0	10,3	10,5	8,3	5,8	1	0,5	0,3	0,1	0,4	0,4	0,4	38
6	вул. Сусаніна						0	22,4	17,8	12,4	2,1	1	0,5	0,3	0,8	0,9	0,9	59
7	вул. Соняшникова							0	34	23,6	4,1	1,9	1	0,5	1,5	1,6	1,8	70
8	вул. Анапська								0	42,6	7,4	3,4	1,9	0,9	2,6	3	3,3	65
9	вул. Розенталь									0	32,5	14,8	8,1	3,8	11,5	13	14,4	98
10	вул. П. Бузука										0	11,3	6,2	2,9	8,7	9,9	10,9	50
11	вул. Кам.-Дніпр.											0	10,3	4,8	14,5	16,4	18,1	64
12	вул. Істоміна												0	1,3	4	4,6	5	15
13	Будинок культури													0	7,1	8	8,9	24
14	Верхня Хортиця (1)														0	18,1	19,9	38
15	Автопарк (1)															0	51	51
16	Завод «Армаліт»																0	0
Разом		0	23	51	44	51	40	63	84	101	50	34	29	15	52	77	136	850

2.3.3 Імітаційні експерименти з моделлю зупинки ізольованого маршруту

Позначимо фактори, що впливають на величину тривалості очікування пасажиром посадки на зупинці наступним чином:

ρ — коефіцієнт завантаження зупинки;

λ — інтенсивність підходу пасажирів до зупинки (пас./хв.);

C_λ — коефіцієнт варіації інтервалів часу між надходженням пасажирів на зупинку;

I — інтервал прибуття автобусів на зупинку, хв.;

C_I — коефіцієнт варіації інтервалу прибуття автобусів на зупинку;

A — математичне очікування кількості вільних пасажиро-місць у салоні транспортного засобу, що прибуває на зупинку, пас.-місць;

C_A — коефіцієнт варіації кількості вільних місць у салоні транспортного засобу.

Справедливі наступні співвідношення між цими факторами:

$$\rho = \frac{\lambda I}{A}. \quad (2.10)$$

Для дослідження впливу коливання кількості вільних місць у салоні прибуваючих транспортних засобів на тривалість очікування пасажирами посадки у салон, приймаємо припущення, що інтервал прибуття транспортних засобів на зупинку є регулярним (тобто $C_I = 0$), інтервал між надходженням пасажирів на зупинку також приймаємо регулярним. За таких припущень додатковий час очікування пасажирами посадки цілком визначається тільки коефіцієнтом завантаження зупинки ρ та нерівномірністю кількості вільних пасажиро-місць, які надходять на неї (тобто, величиною C_A).

Таким чином, принцип моделювання полягає у багаторазовому прогоні моделі зупинки за різних значень коефіцієнта завантаження та коефіцієнта варіації кількості вільних пасажиро-місць.

Однак, моделювання випадкової величини C_A пов'язане з певними труднощами. Згідно формули (2.10), математичне очікування кількості вільних пасажиро-місць у салоні при моделюванні може бути обчислене за формулою

$$A = \frac{\lambda I}{\rho}. \quad (2.11)$$

Оскільки закон розподілу випадкової величини $f(A)$ невідомий та для його завдання ми використовуємо тільки перші два моменти (середнє значення A та коефіцієнт варіації C_A , у якому враховано стандартне відхилення), необхідно найпростішим було б вважати закон розподілу нормальним з відповідним середнім та коефіцієнтом варіації. Однак при комп'ютерному моделюванні випадкової величини, розподіленої за нормальним законом розподілу, цілком імовірна поява від'ємного значення (особливо при великих значеннях C_A). Для того, щоб уникнути такої ситуації, будемо моделювати випадкову величину кількості вільних пасажиро-місць за законом гамма-розподілу, щільність імовірності якого має вигляд

$$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha}}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad (2.12)$$

де $\Gamma(\alpha)$ — гамма-функція;

α — параметр форми;

β — параметр масштабу.

Параметри форми та масштабу зв'язані з математичним очікуванням та коефіцієнтом варіації випадкової величини співвідношеннями

$$M(x) = \alpha\beta; \quad \nu(x) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}. \quad (2.13)$$

Приймаючи для нашого випадку $M(x) = A$ та $\nu(x) = C_A$ маємо систему рівнянь для визначення параметрів α та β

$$\begin{cases} \alpha\beta = A; \\ \frac{1}{\sqrt{\alpha}} = C_A. \end{cases} \quad (2.14)$$

Після елементарних перетворень, та враховуючи формулу (2.11) маємо

$$\alpha = \frac{1}{C_A^2}; \quad \beta = \frac{\lambda \cdot I \cdot C_A^2}{\rho}.$$

Таким чином, приймаючи постійними значення C_A та ρ , при розрахунку можна визначити параметри форми та масштабу закону гамма-розподілу, а потім на їх підставі змодельовати випадкову величину, що буде мати середнє значення A та коефіцієнт варіації C_A .

Діапазон зміни значень параметрів C_A та ρ приймаємо $[0 \dots 1]$ з кроком $\Delta = 0,1$, оскільки при значеннях $\rho \geq 1$ у системі обслуговування виникає черга нескінченної довжини, а значення $C_I \geq 1$ на практиці практично не зустрічаються.

Для дослідження впливу регулярності руху транспортних засобів на тривалість очікування пасажирями посадки у салон, приймаємо припущення, що кількість вільних пасажиро-місць у салоні транспортних засобів, що прибувають на зупинку, є постійною величиною (тобто $C_A = 0$), інтервал між надходженням пасажирів на зупинку також приймаємо регулярним ($C_\lambda = 0$). За таких припущень додатковий час очікування пасажирями посадки цілком визначається тільки коефіцієнтом завантаження зупинки ρ та регулярністю руху транспортних засобів (тобто, величиною C_I).

Діючи аналогічно вищеописаному, з формули (2.10) визначимо математичне очікування інтервалу руху транспортних засобів

$$I = \frac{\rho \cdot A}{\lambda}. \quad (2.15)$$

Використовуючи перехід до гамма-розподілу, для якого у даному випадку $M(x) = I$ та $v(x) = C_I$ маємо систему для визначення параметрів α та β

$$\begin{cases} \alpha\beta = I; \\ \frac{1}{\sqrt{\alpha}} = C_I. \end{cases} \quad (2.16)$$

Звідки отримаємо параметри гамма-розподілу, що використовуються для моделювання

$$\alpha = \frac{1}{C_I^2}; \quad \beta = \frac{\rho \cdot A \cdot C_I^2}{\lambda}.$$

Нарешті, для дослідження впливу нерівномірності надходження пасажирів на зупинку на тривалість очікування ними посадки у салон, приймаємо припущення, що кількість вільних місць у салоні транспортних засобів, що прибувають на зупинку, є постійною величиною (тобто $C_A = 0$), інтервал між прибуттям на зупинку транспортних засобів також приймаємо регулярним ($C_I = 0$). За таких припущень додатковий час очікування пасажирями посадки цілком визначається тільки коефіцієнтом завантаження зупинки ρ та нерівномірністю надходження пасажирів на зупинку (тобто, величиною C_λ).

Діючи аналогічно вищеописаному, з формули (2.10) визначимо математичне очікування інтервалу надходження пасажирів на зупинку

$$\lambda = \frac{\rho \cdot A}{I}. \quad (2.17)$$

Використовуючи перехід до гамма-розподілу, для якого у даному випадку $M(x) = \frac{1}{\lambda}$ та $v(x) = C_\lambda$ маємо систему рівнянь для визначення параметрів α та β

$$\begin{cases} \alpha\beta = \frac{1}{\lambda}; \\ \frac{1}{\sqrt{\alpha}} = C_\lambda. \end{cases} \quad (2.18)$$

Звідки отримаємо параметри гамма-розподілу, що використовуються для моделювання

$$\alpha = \frac{1}{C_{\lambda}^2}; \quad \beta = \frac{C_{\lambda}^2 \cdot I}{\rho \cdot A}.$$

Параметри закону гамма-розподілу приймаються у якості вихідних для генерування відповідних випадкових величин за допомогою вбудованої функції *gamma*(α, β).

2.4 Аналіз результатів моделювання

Залежність між випадковими факторами, що впливають на тривалість очікування посадки у транспортний засіб на величину цієї тривалості будемо шукати у наступному вигляді

$$t_{\text{оч}} = \frac{I}{2} (1 + K_{\text{дод}}), \quad (2.19)$$

де $K_{\text{дод}}$ — коефіцієнт, що враховує додаткові витрати часу пасажиром внаслідок відмови йому у посадці у транспортний засіб через переповнення останнього.

В процесі комп'ютерних експериментів будемо фіксувати повну тривалість очікування пасажиром посадки у транспортний засіб t , після чого знаючи (чи отримуючи розрахунковим шляхом у випадку, коли випадковим фактором є регулярність руху) величину I , розраховувати значення коефіцієнту $K_{\text{дод}}$ за формулою $K_{\text{дод}} = \frac{2t_{\text{оч}}}{I} - 1$.

2.4.1 Вплив регулярності руху транспортних засобів

В процесі моделювання для дослідження впливу регулярності руху транспортних засобів на тривалість очікування приймаємо постійними: математичне очікування вільних місць у салоні транспортного засобу, що прибуває на

зупинку ($A = 20$ пасажиро-місць, $C_A = 0$) та інтенсивність підходу пасажирів до зупинки ($\lambda = 2$ пас./хв., $C_\lambda = 0$). Результати моделювання наведені у таблиці 2.10 та представлені у графічному вигляді на рисунку 2.12 та слайді 12 презентації.

Таблиця 2.10 — Повний час очікування $t_{\text{оч}}$, хв. (чисельник) і коефіцієнт $K_{\text{дод}}$ (знаменник)

C_I	Коефіцієнт завантаження зупинки ρ									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
0,1	$\frac{0,505}{0,01}$	$\frac{1,012}{0,112}$	$\frac{1,514}{0,012}$	$\frac{2,016}{0,022}$	$\frac{2,526}{0,022}$	$\frac{3,026}{0,023}$	$\frac{3,533}{0,024}$	$\frac{4,048}{0,029}$	$\frac{4,649}{0,032}$	$\frac{5,315}{0,119}$
0,2	$\frac{0,52}{0,039}$	$\frac{1,041}{0,041}$	$\frac{1,556}{0,049}$	$\frac{2,081}{0,04}$	$\frac{2,606}{0,042}$	$\frac{3,127}{0,042}$	$\frac{3,678}{0,051}$	$\frac{4,312}{0,078}$	$\frac{5,377}{0,195}$	$\frac{7,937}{0,671}$
0,3	$\frac{0,545}{0,089}$	$\frac{1,091}{0,091}$	$\frac{1,628}{0,096}$	$\frac{2,19}{0,095}$	$\frac{2,723}{0,089}$	$\frac{3,29}{0,097}$	$\frac{3,976}{0,136}$	$\frac{4,877}{0,219}$	$\frac{7,841}{0,743}$	$\frac{11,75}{1,473}$
0,4	$\frac{0,58}{0,159}$	$\frac{1,16}{0,16}$	$\frac{1,746}{0,164}$	$\frac{2,312}{0,156}$	$\frac{2,936}{0,174}$	$\frac{3,623}{0,208}$	$\frac{4,543}{0,298}$	$\frac{7,291}{0,823}$	$\frac{10,57}{1,348}$	$\frac{17,38}{2,658}$
0,5	$\frac{0,627}{0,251}$	$\frac{1,251}{0,254}$	$\frac{1,864}{0,262}$	$\frac{2,515}{0,278}$	$\frac{2,219}{0,287}$	$\frac{4,086}{0,362}$	$\frac{5,093}{0,455}$	$\frac{7,692}{0,923}$	$\frac{14,2}{2,155}$	$\frac{22,33}{3,701}$
0,6	$\frac{0,676}{0,352}$	$\frac{1,355}{0,355}$	$\frac{2,042}{0,361}$	$\frac{2,763}{0,381}$	$\frac{3,93}{0,572}$	$\frac{4,863}{0,621}$	$\frac{6,259}{0,788}$	$\frac{9,609}{1,402}$	$\frac{17,94}{2,987}$	$\frac{27,35}{4,758}$
0,7	$\frac{0,749}{0,466}$	$\frac{1,486}{0,478}$	$\frac{2,219}{0,489}$	$\frac{2,902}{0,491}$	$\frac{4,195}{0,678}$	$\frac{5,618}{0,873}$	$\frac{7,379}{1,108}$	$\frac{11,75}{1,937}$	$\frac{24,42}{4,428}$	$\frac{55,18}{10,62}$
0,8	$\frac{0,817}{0,634}$	$\frac{1,646}{0,646}$	$\frac{2,524}{0,682}$	$\frac{3,401}{0,7}$	$\frac{4,627}{0,851}$	$\frac{6,458}{1,153}$	$\frac{8,861}{1,532}$	$\frac{14,9}{2,724}$	$\frac{23,9}{4,31}$	$\frac{56,25}{10,84}$
0,9	$\frac{0,903}{0,807}$	$\frac{1,807}{0,817}$	$\frac{2,777}{0,851}$	$\frac{3,987}{0,994}$	$\frac{5,722}{1,29}$	$\frac{7,294}{1,431}$	$\frac{11,37}{2,249}$	$\frac{22,85}{4,713}$	$\frac{27,01}{5,003}$	$\frac{54,38}{10,45}$
1,0	$\frac{0,996}{0,992}$	$\frac{2,023}{1,023}$	$\frac{3,163}{1,109}$	$\frac{4,414}{1,207}$	$\frac{6,254}{1,501}$	$\frac{8,44}{1,813}$	$\frac{13,05}{2,728}$	$\frac{19,90}{3,975}$	$\frac{45,5}{9,11}$	$\frac{55,6}{10,7}$

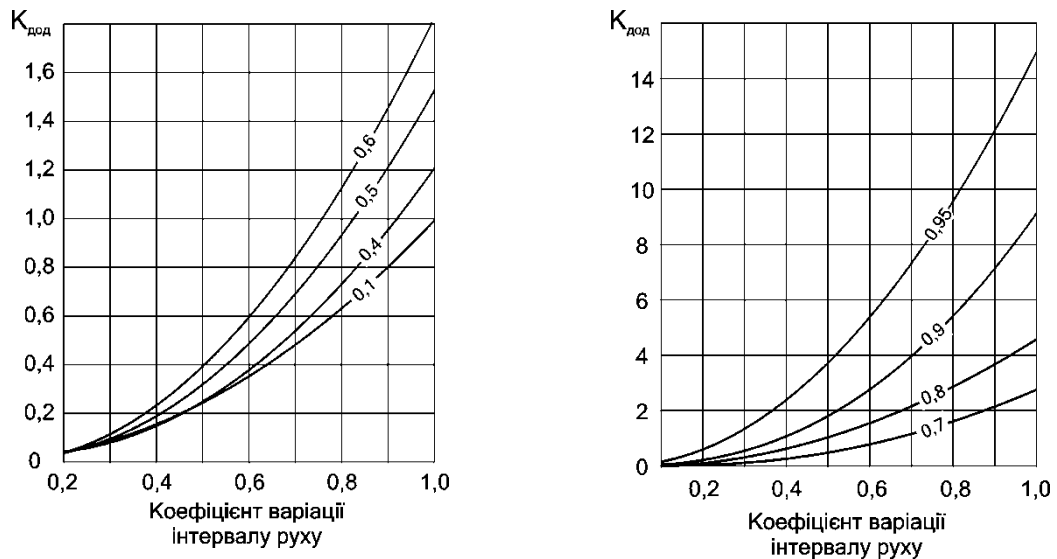


Рисунок 2.12 — Значення коефіцієнту $K_{\text{дод}}$ в залежності від коефіцієнту варіації інтервалу руху C_I та коефіцієнту завантаження зупинки ρ (позначений числами на кривих)

2.4.2 Вплив нерівномірності надходження вільних пасажиро-місць

В процесі моделювання для дослідження впливу нерівномірності надходження вільних пасажиро-місць у салоні транспортних засобів, що прибувають за зупинку на тривалість очікування, приймаємо постійними: інтервал руху транспортних засобів, що прибувають на зупинку ($I = 5$ хв., $C_I = 0$) та інтенсивність підходу пасажирів до зупинки ($\lambda = 2$ пас./хв., $C_\lambda = 0$). Результати моделювання наведені у таблиці 2.11 та представлені у графічному вигляді на рисунку 2.13 та слайді 13 презентації.

Таблиця 2.11 — Повний час очікування $t_{оч}$, хв. (чисельник) і коефіцієнт $K_{дод}$ (знаменник)

C_A	Коефіцієнт завантаження зупинки ρ									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
0,1										$\frac{6,156}{0,231}$
0,2								$\frac{5,057}{0,011}$	$\frac{6,346}{0,269}$	$\frac{10,30}{1,060}$
0,3							$\frac{5,192}{0,038}$	$\frac{6,022}{0,204}$	$\frac{9,102}{0,820}$	$\frac{18,82}{2,765}$
0,4						$\frac{5,242}{0,048}$	$\frac{5,796}{0,159}$	$\frac{7,532}{0,506}$	$\frac{13,87}{1,773}$	$\frac{27,17}{4,435}$
0,5					$\frac{5,303}{0,061}$	$\frac{5,784}{0,157}$	$\frac{6,905}{0,381}$	$\frac{9,642}{0,928}$	$\frac{20,79}{3,158}$	$\frac{49,23}{8,846}$
0,6			$\frac{5,054}{0,011}$	$\frac{5,327}{0,065}$	$\frac{5,835}{0,167}$	$\frac{6,836}{0,367}$	$\frac{8,512}{0,702}$	$\frac{11,46}{1,291}$	$\frac{30,87}{5,174}$	$\frac{58,57}{10,71}$
0,7		$\frac{5,011}{0,002}$	$\frac{5,322}{0,064}$	$\frac{5,771}{0,154}$	$\frac{6,539}{0,308}$	$\frac{7,848}{0,570}$	$\frac{10,06}{1,013}$	$\frac{13,79}{1,758}$	$\frac{27,03}{4,406}$	$\frac{62,28}{11,46}$
0,8		$\frac{5,242}{0,048}$	$\frac{5,782}{0,156}$	$\frac{6,496}{0,299}$	$\frac{7,625}{0,525}$	$\frac{9,365}{0,873}$	$\frac{13,08}{1,617}$	$\frac{21,14}{3,227}$	$\frac{47,16}{8,432}$	$\frac{86,87}{16,37}$
0,9	$\frac{5,069}{0,014}$	$\frac{5,624}{0,125}$	$\frac{6,411}{0,282}$	$\frac{7,186}{0,437}$	$\frac{8,696}{0,739}$	$\frac{11,35}{1,270}$	$\frac{14,63}{1,927}$	$\frac{24,94}{3,987}$	$\frac{52,97}{9,594}$	$\frac{85,90}{16,18}$
1,0	$\frac{5,335}{0,067}$	$\frac{6,043}{0,209}$	$\frac{7,144}{0,429}$	$\frac{8,240}{0,648}$	$\frac{10,04}{1,01}$	$\frac{12,84}{1,568}$	$\frac{17,01}{2,401}$	$\frac{26,27}{4,255}$	$\frac{54,34}{9,869}$	$\frac{110,3}{21,05}$

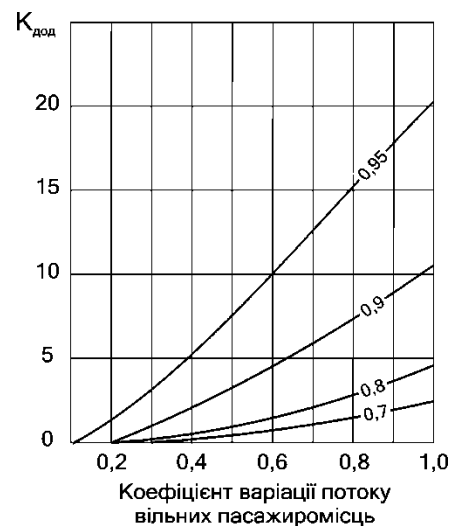
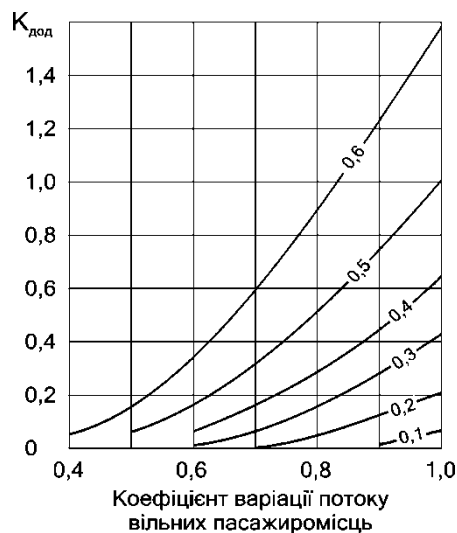


Рисунок 2.13 — Значення коефіцієнту $K_{дод}$ в залежності від коефіцієнту варіації потоку надходження вільних пасажиро-місць C_A та коефіцієнту завантаження зупинки ρ (позначений числами на кривих)

2.4.3 Вплив нерівномірності накопичення пасажирів на зупинці

В процесі моделювання для дослідження впливу нерівномірності надходження пасажирів на зупинку на тривалість очікування, приймаємо визначеними та постійними: інтервал руху транспортних засобів, що прибувають на зупинку ($I = 10$ хв., $C_I = 0$) та математичне очікування кількості вільних пасажиро-місць у салоні транспортних засобів, що надходять на зупинку ($A = 40$ пасажирів, $C_A = 0$). Результати моделювання наведені у таблиці 2.12 та представлені у графічному вигляді на рисунку 2.14 та слайді 14 презентації.

З графіків видно, що нерівномірність накопичення пасажирів на зупинці призводить до появи відмов пасажиром у посадці при достатньо високому коефіцієнті завантаження зупинки $\rho = 0,8$. Величина $K_{\text{дод}}$ швидко нелінійно зростає зі збільшенням ρ .

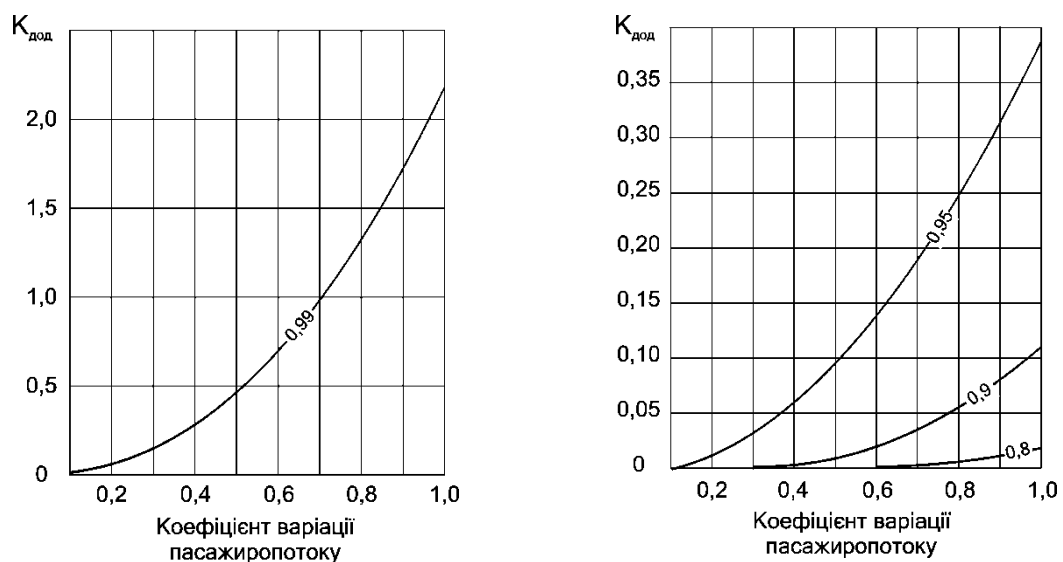


Рисунок 2.14 — Значення коефіцієнту $K_{\text{дод}}$ в залежності від коефіцієнту варіації пасажиропотоку C_λ та коефіцієнту завантаження зупинки ρ (позначений числами на кривих)

Таблиця 2.12 — Повний час очікування $t_{\text{оч}}$, хв. (чисельник) і коефіцієнт $K_{\text{дод}}$ (знаменник)

C_λ	Коефіцієнт завантаження зупинки ρ			
	0,8	0,9	0,95	0,99
0,1				$\frac{5,056}{0,011}$
0,2			$\frac{5,009}{0,002}$	$\frac{5,316}{0,063}$
0,3		$\frac{5,003}{0,001}$	$\frac{5,053}{0,011}$	$\frac{5,939}{0,188}$
0,4		$\frac{5,018}{0,004}$	$\frac{5,137}{0,027}$	$\frac{6,536}{0,307}$
0,5		$\frac{5,047}{0,009}$	$\frac{5,308}{0,062}$	$\frac{7,03}{0,406}$
0,6	$\frac{5,006}{0,001}$	$\frac{5,099}{0,02}$	$\frac{5,472}{0,094}$	$\frac{8,222}{0,644}$
0,7	$\frac{5,015}{0,003}$	$\frac{5,185}{0,037}$	$\frac{5,675}{0,135}$	$\frac{9,875}{0,975}$
0,8	$\frac{5,028}{0,005}$	$\frac{5,262}{0,052}$	$\frac{5,927}{0,185}$	$\frac{11,70}{1,340}$
0,9	$\frac{5,054}{0,011}$	$\frac{5,559}{0,112}$	$\frac{6,334}{0,268}$	$\frac{11,83}{1,366}$
1,0	$\frac{5,092}{0,018}$	$\frac{5,559}{0,112}$	$\frac{6,501}{0,302}$	$\frac{18,22}{2,644}$

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Міський автобусний маршрут м. Запоріжжя №47 «вул. Зачиняєва – вул. Розенталь – вул. Зачиняєва» обслуговується автобусами класів А та В (пасажиромісткість до 22 пасажирів включно), та автобусами класу І (пасажиромісткість понад 22 пасажирів). Типовими представниками цих класів автобусів у місті є Mercedes Sprinter та Богдан А-092, для яких розрахуємо собівартість перевезень.

3.1 Розрахунок собівартості перевезень

Розрахунок собівартості перевезень виконуємо на 1 км пробігу відповідно до Методичних рекомендацій визначення рівня тарифів на послуги пасажирського автомобільного транспорту загального користування, затвердженими наказом Міністерства транспорту №461 від 25.06.2009 р.

Собівартість кілометра пробігу автобуса визначимо за формулою

$$c_{\text{км}} = Z_{\text{в}} + Z_{\text{р}} + C_{\text{т}} + C_{\text{см}} + C_{\text{то}} + C_{\text{ш}} + A + C_{\text{а}} + C_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

де $Z_{\text{в}}$ — заробітна плата водіїв основна та додаткова з відрахуваннями на соціальне страхування, грн.;

$Z_{\text{р}}$ — заробітна плата ремонтних робітників основна та додаткова, з відрахуваннями на соціальне страхування, грн.;

$C_{\text{т}}$ — витрати на паливо, грн.;

$C_{\text{см}}$ — витрати на мастильні матеріали, грн.;

$C_{\text{то}}$ — витрати на технічне обслуговування та ремонт автобусів, грн.;

$C_{\text{ш}}$ — витрати на ремонт та відновлення автомобільних шин, грн.;

A — амортизаційні відрахування, грн.;

C_a — витрати на акумуляторні батареї, грн.;

$C_{пр}$ — інші витрати, грн.

Розрахунок заробітної плати водіїв наведений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Розрахунок заробітної плати водіїв

Стаття	Тип автобуса	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
1. Основна заробітна плата (годинна тарифна ставка), коп./год.	2321	2707
2. Додаткова заробітна плата, коп./год., у тому числі		
– доплата за класність (25 %)	580,25	676,75
– сплата відпусток (9,5 %)	220,49	257,17
3. Заробітна плата основна та додаткова, грн/год.	31,22	36,41
4. Експлуатаційна швидкість, км/год.	18,1	18,1
5. Заробітна плата, коп./км.	172,48	201,16
6. Заробітна плата інженерно-технічних робітників та службовців (10 % від фонду заробітної плати водіїв), коп./км.	17,25	20,12
7. Загальний фонд заробітної плати, коп./км	189,73	221,28
8. Єдиний внесок до фондів соціального страхування та пенсійного фонду (22 %), коп./км.	41,74	48,68
Всього заробітна плата, коп./км	231,47	269,96

Розрахунок заробітної плати ремонтних робітників, зайнятих технічним обслуговуванням рухомого складу, наведений у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Розрахунок заробітної плати ремонтних робітників

Стаття	Тип автобуса	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
1. Річний пробіг автобуса, км	92990	80929
2. Періодичність видів технічного обслуговування, км.		
ТО-1	5 000	5 000
ТО-2	20 000	20 000
3. Нормативи трудомісткості:		
ЩО, чол-год на одне обслуговування	0,8	0,8
ТО-1, чол-год одне обслуговування	5,8	5,8
ТО-2, чол-год одне обслуговування	24,0	24,0
ПР, чол-год/1000 км	6,2	6,2
4. Кількість обслуговувань на річний пробіг, од.		
ЩО	320	320
ТО-1	18	16
ТО-2	4	4
5. Трудомісткість робіт ТО та ПР, чол.-год:		
ЩО	256	256
ТО-1	104,4	92,8
ТО-2	96	96
ПР	577	502
Всього	1033,4	946,8
6. Трудомісткість ТО та ПР на 1000 км пробігу, чол.-год.	11,11	11,67
7. Годинна тарифна ставка ремонтних робітників (III розряд), коп./год.	2224,1	2224,1
8. Розмір доплат і надбавок за інтенсивну працю 12%, за високу професійну майстерність 12 %, за високі досягнення у праці 10% (разом 34 %).	34%	34%

Продовження таблиці 3.2.

Стаття	Тип автобуса	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
9. Годинна тарифна ставка з врахування доплат і надбавок, коп/год	2980,3	2980,3
10. Сплата відпусток (9,5 %), коп/год	211,29	211,29
11. Всього годинна тарифна ставка з врахуванням доплат, надбавок і сплати відпусток, коп./год.	3191,59	3191,59
12. Єдиний внесок до фондів соціального страхування та пенсійного фонду (22 %), коп./км.	702,15	702,15
13. Всього годинний фонд заробітної плати ремонтних робітників з відрахуваннями на соціальне страхування, коп./год.	3893,74	3893,74
14. Заробітна плата ремонтних робітників на 1 км пробігу, коп./км	43,26	45,44

Витрати на паливо автобусами визначимо за формулою

$$C_T = 0,01(1 + k_{\Sigma}) \cdot H_s \cdot \Pi_T, \quad (3.2)$$

де H_s — базова лінійна норма витрати палива на пробіг автобуса, л/100 км.

k_{Σ} — сумарний коригуючий коефіцієнт до базової лінійної норми витрат палива, %.

Π_T — вартість 1 л палива, грн./л.

Розрахунок витрат на паливо наведений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 — Розрахунок витрат на паливо

Стаття	Тип автобуса	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
1. Лінійна норма витрат палива, л/100 км.	13,0 дт	15,5 дт
2. Додаткові витрати палива, %		
– за роботу у місті з населенням 0,5 – 1,0 млн. чол.	10	10
– за виконання роботи, пов’язаної з частими технологічними зупинками	10	10
3. Вартість 1 л палива, грн/л	24,5	24,5
4. Витрати палива на 1 км пробігу, л	0,156	0,186
5. Витрати на палива на 1 км пробігу, коп./км	382,2	455,7

Витрати на мастильні матеріали приймаємо у розмірі 15 % від витрат на паливо. Для автобусів Mercedes Sprinter $C_{см} = 57,3$ коп/км, для автобусів Богдан А092 $C_{см} = 68,4$ коп/км.

Витрати на технічне обслуговування та ремонт визначаємо у відповідності до Нормативів витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт по базових марках автомобілів, затвердженими Наказом Міністерства транспорту від 14.11.1995 р. Результати розрахунку наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Розрахунок витрат на ТО та ремонт автобусів

Стаття	Тип автобуса	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
1. Витрати на запчастини, грн/1000 км пробігу	57,12	89,92
2. Витрати на матеріали, грн/1000 км пробігу	99,68	117,76
3. Витрати на ремонт і матеріали, грн/1000 км пробігу	156,8	207,68
4. Витрати на ремонт і матеріали, коп/км.	15,68	20,77

Витрати на автомобільні шини визначимо за формулою

$$C_{\text{ш}} = \frac{Ц_{\text{ш}}}{L_{\text{ш}}}, \quad (3.3)$$

де $Ц_{\text{ш}}$ — ціна комплекту шин, грн.;

$L_{\text{ш}}$ — нормативний пробіг шин до заміни, км.

Розрахунок витрат на автомобільні шини наведений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 — Витрати на автомобільні шини

Стаття	Тип автобуса	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
1. Кількість шин, одиниць	4+1	6+1
2. Тип та розмір шин	225/70/15С	215/75 R17,5
3. Норма експлуатаційного пробігу автошин, тис. км.	75	80
4. Вартість шини, грн.	1653	2845
5. Витрати на автошини на 1 км пробігу, коп/км.	11,02	24,89

Амортизаційні відрахування на рухомий склад визначаємо виходячи з річної норми амортизаційних відрахувань 20 %. Результати розрахунку амортизаційних відрахувань наведені у таблиці 3.6.

Витрати на заміну відновлення акумуляторних батарей автобусів визначимо за формулою

$$C_a = \frac{100 \cdot Ц_{\text{аб}} \cdot n_{\text{аб}}}{H_{\text{аб}} \cdot I}, \quad (3.4)$$

де $Ц_{\text{аб}}$ — вартість акумуляторної батареї, грн.;

$n_{\text{аб}}$ — кількість акумуляторних батарей, встановлених на автобусі;

Таблиця 3.6 — Розрахунок амортизаційних відрахувань

Стаття	Тип автобуса	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
1. Балансова вартість автобуса, грн.	159450	241500
2 Річна норма амортизації, %	20	20
3. Річний пробіг автобуса, км.	92990	80929
4. Амортизаційні відрахування у перший рік експлуатації, грн.	31890	48300
5. Амортизаційні відрахування у перший рік експлуатації, коп/км	34,29	59,68

$N_{аб}$ — експлуатаційна норма середнього ресурсу акумуляторної батареї, встановлена «Експлуатаційними нормами середнього ресурсу акумуляторних свинцевих батарей колісних транспортних засобів і спеціальних машин, виконаних на колісних шасі», затверджених наказом Міністерства транспорту і зв'язку України №489 від 20.05.2006 року;

I — фактична інтенсивність експлуатації автомобільного транспортного засобу, км/місяць.

Розрахунок витрат на акумуляторні батареї для автобусів наведений у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 — Розрахунок витрат на акумуляторні батареї

Стаття	Тип рухомого складу	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
1. Тип акумуляторної батареї	55DL23L	6СТ-90
2. Кількість акумуляторних батарей	1	2
3. Місячний пробіг автобуса, км	8133	7941

Продовження таблиці 3.7.

Стаття	Тип рухомого складу	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
4. Норма середнього ресурсу акумуляторної батареї, міс.	18	18
5. Вартість акумулятора, грн.	2350	3529
6. Витрати на акумулятори на 1 км пробігу, коп./км	1,61	4,94

Загальновиробничі витрати приймаємо у розмірі 60 % від фонду заробітної плати водіїв:

– для автобусів Mercedes Sprinter

$$C_{\text{пр}} = 0,6 \cdot 172,48 = 103,49 \text{ коп./км};$$

– для автобусів Богдан А092

$$C_{\text{пр}} = 0,6 \cdot 201,16 = 120,7 \text{ коп./км.}$$

Результати розрахунку собівартості перевезень наведені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 — Собівартість виконання 1 км пробігу по статтях витрат

Стаття	Тип автобуса	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
1. Заробітна плата водіїв, коп./км	231,47	269,97
2. Заробітна плата ремонтних робітників, коп./км.	43,26	45,44
3. Витрати на паливо, коп./км.	382,2	455,7

Продовження таблиці 3.8.

Стаття	Тип автобуса	
	Mercedes Sprinter	Богдан А092
4. Мастильні матеріали, коп/км.	57,3	68,4
5. Автомобільні шини, коп/км.	11,02	24,89
6. Ремонт і технічне обслуговування, коп/км.	15,68	20,77
7. Амортизація рухомого складу, коп/км.	34,29	59,68
8. Витрати на акумуляторні батареї, коп./км	1,61	4,94
9. Загальновиробничі витрати, коп/км.	103,49	120,7
Собівартість виконання 1 км пробігу, коп.	880,3	1070,5

3.2 Розрахунок тарифу на проїзд пасажирів

Тариф на перевезення одного пасажирів на маршруті визначимо за формулою

$$T = \frac{k_p \cdot c_{\text{км}} \cdot \bar{l}}{q_p \cdot \gamma_d}, \quad (3.5)$$

k_p — коефіцієнт, що враховує рентабельність перевезень. Приймаємо $k_p = 1,15$;

$\bar{l}$ — середня дальність поїздки пасажирів, км.;

q_p — номінальна пасажиромісткість автобуса, пас.;

γ_d — динамічний коефіцієнт використання пасажиромісткості.

Тариф на поїздку пасажирів складе:

– для автобуса Mercedes Sprinter (режим маршрутного таксі):

$$T_{\text{мт}} = \frac{1,15 \cdot 880,3 \cdot 5,0}{18 \cdot 0,6} = 468,7 \text{ коп.};$$

– для автобуса Богдан А092 (звичайний режим руху)

$$T_{зв} = \frac{1,15 \cdot 1070,5 \cdot 5,0}{42 \cdot 0,35} = 418,7 \text{ коп.}$$

Існуюча вартість проїзду на маршруті № 47 «вул. Зачиняєва – вул. Розенталь – вул. Зачиняєва» наразі встановлена у розмірі 5,0 грн для звичайного режиму руху і режиму руху маршрутного таксі.

3.3 Розрахунок економічного ефекту від підвищення регулярності руху автобусів на маршруті

Оскільки серед розглянутих у процесі моделювання роботи автобусів на маршруті №47 керованим є лише регулярність руху, розрахуємо можливий економічний ефект від її підвищення. Підвищення регулярності руху можливе за рахунок диспетчерського контролю за дотриманням розкладу руху автобусів у режимі реального часу. Це, у свою чергу, зменшує середню тривалість очікування пасажирів на зупинках.

Підвищення регулярності руху на міському автобусному маршруті №47 пропонується досягти шляхом обладнання на автотранспортному підприємстві ТОВ «ТК «Гранд-Авто» диспетчерського пункту з персональним комп'ютером, підключеним до мережі Internet, встановлення на автобуси обладнання супутникової навігації GPS, та підключення диспетчерського центру до діючої звітної системи моніторингу громадського транспорту (www.bustrack.com.ua). Оперативний зв'язок між диспетчером та водіями автобусів може бути здійснений шляхом використання мобільних телефонів. Схема організації технічних засобів наведена на слайді 15 презентації.

3.3.1 Розрахунок додаткових капітальних вкладень

Додаткові капітальні вкладення для реалізації проекту включають комплект обладнання GPS (2 шт.), що встановлюється на автобус, придбання персональної ЕОМ (ноутбука) та мережевого обладнання для підключення до мережі Internet.

Вартість одного комплекту обладнання GPS, що встановлюється на автобус складає 2500 грн (www.sattrans.com.ua). Вартість ADSL роутера для підключення до мережі Internet Asus DSL-AC56U складає 4689 грн. Для комфортної та зручної роботи диспетчера обираємо ноутбук з діагоналлю екрану 17 дюймів Dell Inspiron 5749 (I57P45DIL-44) Silver вартістю 10 699 грн (www.rozetka.com.ua).

Таким чином, додаткові капітальні вкладення складуть

$$K_{\text{дод}} = 2 \times 2500 + 10699 + 4689 = 20388 \text{ грн.}$$

3.3.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати включають у себе:

- а) заробітну плату (з нарахуваннями) диспетчера АТП;
- б) амортизаційні відрахування на комп'ютерну техніку та GPS;
- в) абонентську плату за використання звітної системи моніторингу громадського транспорту;
- г) абонентську плату за підключення до мережі Internet.

Заробітну плату диспетчерів автотранспортного підприємства визначаємо виходячи з годинної тарифної ставки $c_{\text{гт}} = 22,1$ грн; річного фонду фактично

відпрацьованих годин $\Phi_p = 6570$ год.; коефіцієнта, що враховує єдиний соціальний внесок $k_{cb} = 1,22$; коефіцієнта, що враховує сплату відпусток $k_b = 1,095$. Таким чином, фонд заробітної плати диспетчерів складе

$$З = 22,1 \cdot 6570 \cdot 1,22 \cdot 1,095 = 193968 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування на комп'ютерну техніку та обладнання GPS визначаємо виходячи з їх балансової вартості та терміну служби 5 років (4 група основних засобів). Відповідно, щорічна норма амортизаційних відрахувань складе 20 %. Щорічна величина амортизаційних відрахувань складе

$$A = K_{\text{дод}} \times 0,2 = 20388 \cdot 0,2 = 4077,6 \text{ грн.}$$

Абонентська плата за використання звітної системи моніторингу громадського транспорту складає 500 грн на місяць за один транспортний засіб, тож річні витрати за цією статтею складуть $2 \cdot 500 \cdot 12 = 12000$ грн.

Абонентська плата за підключення до мережі Internet складає 60 грн на місяць. Річні витрати складуть $60 \cdot 12 = 720$ грн.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати дорівнюють

$$C_p = 193968 + 4077,6 + 12000 + 720 = 210766 \text{ грн.}$$

3.3.3 Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект від підвищення регулярності руху на маршруті розраховуємо за формулою

$$E_p = (T_6 - T_{\text{пр}}) \cdot Z_{\text{ср}} - C_p - \frac{K_{\text{дод}}}{T_{\text{ок}}}, \quad (3.6)$$

де T_6 — річні витрати часу на очікування пасажирів на зупинках маршруту за існуючим варіантом, год.;

$T_{пр}$ — річні витрати часу на очікування пасажирів на зупинках маршруту за проектним варіантом, год.;

$Z_{ср}$ — середньогодинна заробітна плата (дохід) пасажирів, грн.;

$T_{ок}$ — термін окупності додаткових капітальних вкладень. Приймаємо $T_{ок} = 5$ років виходячи з граничного терміну укладення договору на обслуговування маршруту.

Річні витрати часу на очікування пасажирів на зупинці розраховуємо за формулою

$$T = Q_p \cdot t_{оч}, \quad (3.7)$$

де Q_p — річний обсяг перевезень пасажирів на маршруті, пас. За даними проведеного обстеження пасажиропотоків $Q_p = 258957$ пас.;

$t_{оч}$ — середня тривалість очікування пасажирів на зупинці, год.

Середню тривалість очікування пасажирів на зупинці знаходимо за формулою (2.19)

$$t_{оч} = \frac{I}{120} (1 + k_{дод}), \quad (3.8)$$

де I — середньодобовий інтервал руху на маршруті, хв. За даними обстеження $I = 25$ хв.;

$k_{дод}$ — коефіцієнт, що враховує збільшення часу очікування пасажирів на зупинці внаслідок нерегулярності руху автобусів.

За існуючим варіантом при середньому коефіцієнті завантаження зупинки за добу $\rho = 0,5$ та коефіцієнті варіації інтервалу руху $C_I = 0,4$ маємо значення коефіцієнта (див. рисунок 2.12) $k_{дод} = 0,2$.

Річні витрати часу на очікування за базовим варіантом складуть

$$t_{оч} = \frac{25}{120} (1 + 0,2) = 0,25 \text{ год.}$$

$$T_6 = 258957 \cdot 0,25 = 64739 \text{ год.}$$

Річні витрати часу на очікування за проектним варіантом (при значенні $k_{\text{дод}} = 0$) складуть

$$t_{\text{оч}} = \frac{25}{120} = 0,208 \text{ год.}$$

$$T_{\text{пр}} = 258957 \cdot 0,208 = 53863 \text{ год.}$$

За даними Державної служби статистики України в Запорізькій області середньомісячна заробітна плата (дохід) одного працівника в Запорізькій області у 2017 році складає 6620 грн, що при середньорічному фонді робочого часу 165,5 годин дає середньогодинний дохід працівника $Z_{\text{ср}} = 40$ грн/год.

Таким чином, економічний ефект від впровадження системи диспетчерського управління складе

$$E_p = (64739 - 53863) \cdot 40 - 210766 - \frac{20388}{5} = 220196 \text{ грн.}$$

Це підтверджує доцільність впровадження запропонованих заходів щодо зменшення нерегулярності руху на автобусному маршруті №47 «вул. Зачиняєва — вул. Розенталь — вул. Зачиняєва» міста Запоріжжя. Техніко-економічні показники наведені на слайді 16 презентації.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Тема магістерської роботи: «Дослідження параметрів обслуговування пасажирів на міському автобусному маршруті методом імітаційного моделювання». В якості прикладу міського маршруту в роботі використано маршрут №47 «вул. Зачиняєва – вул. Розенталь – вул. Зачиняєва» міста Запоріжжя. Маршрут обслуговується автотранспортним підприємством ТОВ «ТК «Гранд-Авто», тож розглянемо, які шкідливі та небезпечні виробничі фактори можуть мати місце при експлуатації автотранспортних засобів на маршруті.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

1. Дорожньо-транспортні пригоди (ДТП), які призводять до травмування, а також до загибелі як водіїв, пасажирів, так і інших громадян, а також до псування транспортних засобів, негативного впливу на навколишнє середовище. Це виникає внаслідок порушення Правил дорожнього руху і Правил охорони праці на автомобільному транспорті.

2. Наїзд проїжджаючих транспортних засобів на пасажирів під час виконання посадки-висадки пасажирів на зупинках.

3. Невідповідність мікроклімату у кабіні водія може призвести до захворювань (простудних, радикулітів, швидкої втомлюваності) і, як результат, — до ДТП.

4. Вплив шуму на організм людини найчастіше залежить від кількісної характеристики (концентрація рівня, інтенсивність, місце впливу). Основними джерелами шуму є двигун з вентиляційною системою охолодження і випуск-

ними трубопроводами, ходова частина і кузов. Тривалий шум негативно впливає на орган слуху, знижуючи чутливість до звуку, викликаючи глухоту, розлад діяльності серця, печінки, приводить до виснаження нервових клітин, головного болю.

5. Підвищений рівень вібрації на робочому місці водія та у пасажирському салоні. Рівень загальної вібрації залежить від швидкості руху, конструктивних особливостей сидінь, ходової частини транспорту. Вібрація при перевищенні допустимих значень негативно впливає на центральну нервову систему, шлунково-кишковий тракт, вестибулярний апарат, викликає запаморочення, оніміння кінцівок, захворювання суглобів. Тривалий вплив вібрації викликає професійне захворювання — вібраційну хворобу.

6. Забруднення повітряного середовища кабіни водія відпрацьованими газами двигуна. Основним джерелом забруднення є двигун. При пробігу автомобілів понад 100 тис. км в двигунах значно зношується поршнева група. Внаслідок цього відпрацьовані гази потрапляють у картер двигуна і проникають у підкапотний простір, після чого потрапляють у салон автомобіля через щілини або вентиляційну систему. Наявність у салоні автобуса шкідливих речовин (зокрема, оксидів вуглецю і азоту, акролеїну, вуглеводнів аліфатичних граничних, формальдегіду) призводить до негативних змін в організмі людини. Ступінь та характер змін залежить від кількості речовин, тривалості їх впливу, шляхів проникнення, хімічної структури шкідливих речовин та інших факторів.

7. Неправові дії пасажирів та інших громадян під час виконання рейсів на маршруті, що можуть призвести до непередбачуваних подій, або навіть до ДТП.

8. Нервово-емоційне напруження водія при управлінні автобусом, що пов'язане із великою кількістю та характером інформації, яка надходить ззовні. Нервово-емоційне напруження залежить від конкретних ситуацій в реальних дорожніх умовах: різке гальмування, обгін та ускладнений проїзд нерегульованого та регульованого перехресть, вхід у транспортний потік і вихід з нього тощо.

9. Скупчення на двигуні бруду і мастил та коротке замикання електричної проводки, що може привести до пожежі на транспортному засобі, який перевозить пасажирів.

10. Застосування відкритого вогню для підігріву двигуна у холодний період року.

11. Займання автобусів належить до надзвичайних ситуацій техногенного характеру, які супроводжуються виходом з ладу транспортних засобів і призводить до травм (опіків) та гибелі людей. Також зазнаються значні матеріальні збитки. Найбільш частими причинами таких пожеж є:

- застосування легкозаймистих і горючих рідин для мийки та протирання двигунів;
- куріння поблизу місць ремонту системи живлення, застосування відкритого вогню;
- порушення герметичності газового обладнання на газобалонному транспорті, витікання газу через нещільності системи живлення.

12. Спотикання пасажирів під час посадки-висадки в умовах недостатнього рівня освітлення салону, сходів та дверного отвору, що призводить до падінь та травмувань.

4.2 Заходи по забезпеченню безпеки

1. Для попередження дорожньо-транспортних пригод необхідні:

- організаційні заходи: проведення для водіїв автобусів навчання Правилам дорожнього руху згідно постанови Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 № 1306 «Про правила дорожнього руху» з останніми змінами від 30.08.2017 № 660, і, відповідно, вивчення ними нормативних актів з охорони праці НПАОП 60.2–1.28–97 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті».

– технічні заходи: забезпечення постійної технічної готовності транспортних засобів шляхом своєчасного і якісного ремонтів та перевірок при випуску транспорту на лінію; забезпечення постійного медичного контролю водіїв, що виходять у рейс; перед виходом у рейс для водія, у спеціальному кабінеті з охорони праці, необхідне проведення інструктажу з наданням переліку найбільш небезпечних перехресть та місць з ускладненими дорожніми умовами.

2. Для попередження наїзду транспортних засобів на пасажирів при посадці та висадці на зупинках необхідні:

– організаційні заходи: проведення для водіїв автобусів навчання Правилам дорожнього руху згідно постанови Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 № 1306 «Про правила дорожнього руху» з останніми змінами від 30.08.2017 № 660, і, відповідно, вивчення ними нормативних актів з охорони праці НПАОП 60.2–1.28–97 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті»;

– технічні заходи: перед закриттям дверей автобусу водій повинен подивитися у бокове дзеркало та пересвідчитися, що всі пасажирів здійснили посадку, і тільки після цього закривати двері; безумовне виконання усіма працівниками Правил Дорожнього руху, при роботі на лінії; виконання вимог НПАОП 60.2–1.28–97; під час руху автобусу водій повинен уникати різкого прискорення та гальмування, зміни напрямку руху, якщо вони не викликані ситуацією на дорозі. Транспортний засіб повинен зупинятись тільки на спеціально облаштованих зупинках, передбачених схемою маршруту.

3. При неправових діях пасажирів необхідні:

– технічні заходи: водій повинен негайно вжити заходів по висадці таких пасажирів із салону або доправити їх до відділку поліції. При винайдені таких пасажирів на лінії необхідно негайно доповісти про такий випадок по радіо або телефоном диспетчеру.

4. Для запобігання нервово-емоційного перенавантаження водія необхідні:

– організаційні заходи: організувати графік роботи водія таким чином, щоб безперервне керування транспортним засобом не перевищувало норми

згідно Положення Міністерства транспорту і зв'язку України «Про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів» від 07.06.2010 № 340, а саме 4 години, та забезпечити якісний відпочинок та приймання їжі у спеціальних кімнатах та їдальні автотранспортного підприємства.

– технічні заходи: в кабіні водія бажано встановити звуковий пристрій (радіо). Якщо це не заважає керуванню автобусом, спокійна музика поліпшує настрій та позитивно впливає на специфіку роботи кістково-м'язового апарату людини. Рівень звуку в салоні автобусів не повинен перевищувати 60 дБА згідно ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

1. Для зменшення шкідливого впливу вібрації необхідні:

– організаційні заходи: забезпечити робоче місце відповідно до вимог обмеження часу дії вібрації згідно з ДСН 3.3.6.039–99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

– технічні заходи: застосування м'яких сидінь з поролону або з інших вібропоглинаючих матеріалів, пневматичних та гумових подушок, прокладок, віброізолюючих опор, пневматичних та пружинних підвісок, ліквідація великих люфтів, своєчасне проведення медичних оглядів працівників. При тривалій експлуатації транспортного засобу слід усувати коливання деталей кузова і основних вузлів автомобіля, своєчасно балансувати деталі та підтягуючи болтові з'єднання.

2. Для зменшення рівня шуму необхідні:

– організаційні заходи: згідно ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» рівні звуку та еквівалентні рівні звуку в салонах легкових автомобілів та автобусів не повинні перевищувати 60 дБА.

– технічні заходи: застосування збалансованих силових агрегатів і вузлів трансмісії, правильний підбір і розрахунок еластичних елементів підвіски силового агрегату, трансмісії, ходової частини, системи випуску відпрацьованих газів, правильний розрахунок конструкції системи випуску і визначення точок її підвіски до кузова, правильне моделювання конструкції кузова і його жорсткості, вибір прогресивних конструкцій ущільнювачів вікон і дверних проїм та інше. Зниженню рівня шуму двигунів сприяють: вдосконалення систем впуску горючої суміші (повітря) і випуску відпрацьованих газів, встановлення на двигуні спеціальних звуконепроникних пристроїв (капсул), що не стикаються з двигуном, застосування для двигунів досконаліших конструкцій вентиляторів, що створюють зовнішній шум в діапазоні частот 300 ... 600 Гц.

3. Для забезпечення належного мікроклімату в салоні необхідні:

– організаційні заходи: забезпечити дотримання вимог щодо температури в салоні автобусу згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» та ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони»;

– технічні заходи: регулярно використовувати систему клімат-контролю, кондиціонер, вентилятор. Дотримувати температуру в салоні транспортного засобу у межах 21 ... 23 °С у холодну пору року та 22 ... 26 °С у теплу;

4. Для запобігання потрапляння шкідливих речовин до салону автобусу необхідні:

– організаційні заходи: згідно ГН 2.2.5.1313-03 «Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони» вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони водія в кабіні (салоні) не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій.

– технічні заходи: для запобігання отруєння вихлопними газами необхідне правильне регулювання двигунів (правильно відрегульований двигун виділяє приблизно в десять разів менше окису вуглецю, ніж несправний), поліпшення робочого процесу двигунів внутрішнього згоряння, в результаті чого знижу-

ється токсичність вихлопу, ретельна установка гумових прокладок, що закривають отвори в підлозі салону, підвищення ефективності системи опалення та вентиляції салону (вентиляцію необхідно використовувати навіть при низькій температурі повітря), встановлення каталізаторів відпрацьованих газів, постійна перевірка патрубків системи випуску, щоб з них не просочувались вихлопні гази, для запобігання їх попадання у підкапотний простір.

5. Для забезпечення належного рівня освітлення необхідні:

- організаційні заходи: дотримуватись вимог згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»;

- технічні заходи: в темну пору доби водієм повинно бути забезпечено належне освітлення салону для запобігання травм пасажирів під час просування салоном та посадки-висадки. Також повинно бути достатнє освітлення для водія, необхідне для виконання розрахунків з пасажирями. Освітлення в салоні на рівні підлоги має бути не менше ніж 10 лк. Для цього необхідне встановлення двох рядів світлодіодних ламп на стелі салону.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Для попередження виникання пожежі у автобусі через скупчення на двигуні бруду і мастил при підготовці автобуса до виїзду на лінію, необхідно перевірити технічний стан автобуса, в тому числі справність та стерильність двигуна. Забороняється залишати на двигуні забруднені маслом або паливом використані обтиральні матеріали. Технічний стан дорожніх транспортних засобів повинен відповідати вимогам стандартів НПАОП 60.2-1.28-97 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті», Правил пожежної безпеки України, Правил дорожнього руху, нормативних актів з охорони навколишнього середовища, інструкцій підприємств-виробників автобусів, реєстраційних документів та іншої нормативної документації. Згідно ДСТУ 3675-98 «Пожежна

техніка. Вогнегасники переносні» автобуси для перевезення пасажирів у кількості понад 30, а також дорожні транспортні засоби для вахтових бригад повинні бути оснащенні двома вогнегасниками: порошковими ВП-5 та ВП-2 (або ВП-5 та вуглекислотним ВВК-5).

У пасажирських салонах автобусів вогнегасники розміщуються приблизно на рівні центра вікон або вище в передньому куті салону для забезпечення їх цілості, для можливого контролю з боку водія та доступу до них через передні двері. Найбільш зручними місцями для ВП-5 та ВВК-5 в автобусах великого класу є стінка кабіни з боку водія або місце під правим переднім кріслом для пасажирів.

Щоб уникнути виникнення пожежі у автобусі забороняється:

- робити ремонт паливної системи при працюючому або гарячому двигуні, увімкненому запалюванні;
- підігрівати двигун і інші агрегати відкритим вогнем, а також користуватися ним у безпосередній близькості від приладів системи живлення двигуна (у тому числі від паливних баків);
- курити й користуватися відкритим вогнем при визначенні залишку палива у баку, а також при заправленні автобуса з додаткових ємностей.

Допускається кріплення вогнегасників в нахиленому або горизонтальному положенні корпусу. Індикатор тиску вогнегасника закачного типу повинен бути добре видимим, щоб можна було контролювати тиск без зняття вогнегасника з кронштейна. Вогнегасниками дорожні транспортні засоби укомплектовано в більшості випадків переважно на заводах-виробниках.

4.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Автомобільний транспорт є джерелом підвищеної небезпеки, а безпека учасників руху багато в чому залежить безпосередньо від них самих. Одним з

правил безпеки є неухильне виконання вимог дорожніх знаків згідно нормам ДСТУ 4100–2014 «Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування» та Правил дорожнього руху України. Якщо ж всупереч прийнятим заходам не вдається уникнути дорожньо-транспортної пригоди, то необхідно керувати машиною до останньої можливості, вживаючи всіх заходів для того, щоб уникнути зіткнення із зустрічним автомобілем, тобто згорнути в кювет, чагарник або огорожу.

Аварійна ситуація може виникнути в основному при дорожньо-транспортній пригоді. У разі причетності до аварії водій зобов'язаний:

- негайно зупинити автобус і залишитись на місці пригоди;
- увімкнути аварійну сигналізацію і встановити знак аварійної зупинки;
- вжити можливих заходів для надання першої медичної допомоги потерпілим, викликати швидку, а якщо це неможливо, звернутися за допомогою до присутніх і відправити потерпілих до лікувального закладу;
- повідомити про дорожньо-транспортну пригоду органи поліції, записати прізвища і адреси очевидців, чекати прибуття працівників поліції.

Висновки з розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях».

1. Для запобігання дорожньо-транспортних пригод:

- проведення навчання Правилам Дорожнього руху згідно постанови Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 № 1306 «Про правила дорожнього руху» з останніми змінами від 30.08.2017 № 660, і, відповідно, вивчення ними нормативних актів з охорони праці НПАОП 60.2–1.28–97 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті»;
- забезпечення постійної технічної готовності транспортних засобів шляхом своєчасного і якісного ремонту, перевірки технічного стану при випуску автобусів на лінію;
- забезпечення постійного медичного контролю водіїв, що виходять у рейс;

- постійне забезпечення заходів по поліпшенню умов праці, відпочинку і побуту робітників підприємства;

- вжиття заходів водієм при неправових діях пасажирів;

- перевірка технічного стану автобуса, в тому числі справність та стерильність двигуна.

2. Для попередження шуму та вібрації:

- ліквідування резонансних явищ, підвищення стійкості конструкції, ретельне збирання, балансування, ліквідація великих люфтів, використання віброгасників та інше. Вимоги до обмеження часу дії вібрації наведені у ДСН 3.3.6.039–99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»;

- для захисту від шуму дотримуватись норм, вказаних у ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», використовувати малощумне обладнання, спеціальні шумопоглинаючі матеріали, раціональні режими праці та відпочинку водіїв, постійний моніторинг рівня шуму.

3. Для забезпечення захисту від шкідливих речовин:

- необхідне правильне регулювання двигунів, поліпшення робочого процесу двигунів внутрішнього згорання, в результаті чого знижується токсичність вихлопу, підвищення ефективності системи опалення та вентиляції салону, встановлення каталізаторів відпрацьованих газів, перевірка патрубків системи випуску, щоб з них не просочувались вихлопні гази, для запобігання їх попадання у підкапотний простір.

4. Для запобігання займання або пожежі:

- забороняється залишати на двигуні забруднені маслом або паливом використані обтиральні матеріали;

- забороняється виконувати ремонт паливної системи при працюючому або гарячому двигуні, включеному запалюванні;

- курити й користуватися відкритим вогнем при визначенні залишку палива в баку, а також при заправленні автобуса з додаткових ємностей;

- заборонено підігрівати двигун та інші агрегати відкритим вогнем;

- згідно ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні», оснащення автобусів для перевезення пасажирів у кількості понад 30 двома вогнегасниками: порошковими ВП-5 та ВП-2 (або ВП-5 та вуглекислотним ВВК-5).

5. Для запобігання аварій на дорозі:

- виконання вимог дорожніх знаків згідно норм ДСТУ 4100-2014 «Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування» та Правил дорожнього руху України;

- проведення інструктажів стосовно дій водія при виникненні дорожньо-транспортної пригоди.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі були вирішені задачі математичного та імітаційного моделювання процесів обслуговування пасажирських потоків у міських транспортних системах, а саме:

1) проведений аналіз літературних джерел та публікацій, присвячених моделюванню транспортно-технологічних процесів, які протікають у системі транспортного обслуговування пасажирів транспортом загального користування у містах;

2) на прикладі міського автобусного маршруту №47 «вул. Зачиняєва – вул. Розенталь – вул. Зачиняєва» у середовищі імітаційного моделювання AnyLogic розроблені окремі блоки та алгоритми моделювання процесу обслуговування пасажирів на ізольованому маршруті;

3) виконано математичне моделювання нестационарних пасажиропотоків на протязі доби за допомогою методів гармонічного аналізу та застосуванням рядів Фур'є для математичного опису динаміки зміни пасажиропотоків;

4) виконане математичне моделювання пасажирських кореспонденцій для обраного маршруту та за допомогою розрахунково-аналітичних методів розраховані матриці міжзупинкових пасажирських кореспонденцій та імовірностей міжзупинкових пасажирських кореспонденцій;

5) на побудованій моделі за допомогою експериментів з варіюванням параметрів розроблена статистична модель визначення очікування тривалості пасажиром посадки у транспортний засіб на зупинці, яка дозволяє врахувати у цій тривалості нерегулярність руху транспортних засобів, нерегулярність надходження пасажирів на зупинку та нерівномірність наповнення салону прибуваючих на зупинку транспортних засобів.

Результати розрахунків та моделювання представлені у аналітичному, графічному та табличному вигляді.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Артынов, А. П. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами / А. П. Артынов, В. В. Скалецкий. — М. : Наука, 1981. — 278 с.
2. Брайловский, Н. О. Моделирование транспортных систем / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. — М. : Транспорт, 1978. — 125 с.
3. Самойлов, Д. С. Организация и безопасность городского движения / Д. С. Самойлов, В. А. Юдин. — М. : Высшая школа, 1972. — 220 с.
4. Блинкин, М. Я. Автоматизированные системы транспортного планирования [Текст] : Итоги науки и техники. Сер. «Автомобильный и городской транспорт» ; т. 13 / М. Я. Блинкин, Г. А. Гуревич, А. В. Сарычев. — М. : ВИНТИ, 1988. — 128 с.
5. Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями [Текст] / Л. Клейнрок. — М. : Мир, 1979. — 600 с.
6. Кузькін, О. Ф. Моделювання процесів обслуговування пасажирів на зупиночних пунктах у міських транспортних системах / Кузькін О. Ф., Турпак С. М. // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту : ДІАТ. — №1. — 2009. — С. 164–169.
7. Боровиков, В. П. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS: Основы теории и интенсивная практика на компьютере: Учебное пособие / В. П. Боровиков, Г. И. Ивченко. — М. : Финансы и статистика, 2006. — 368 с.
8. Баскин, Э. М. О среднем времени ожидания пассажира на автобусной остановке [Текст]/ Э. М. Баскин // Теория и средства автоматизации. — М. : Наука, 1968. — С. 23–28.
9. Раскин, Е. Н. К вопросу определения времени ожидания пассажира на маршруте городского пассажирского транспорта / Е. Н. Раскин, П. Б. Хейфец // Экономико-математические методы планирования и

- управления в системе городского хозяйства. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. — С. 98–107.
10. ДБН 360-92** Планування та забудова міських та селищних поселень. Державні будівельні норми України [Текст]. — К. : НДПІ містобудування, 2002.
 11. Карпов, Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Г. Карпов. — СПб. : БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.
 12. Лащенко, О. А. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем. Навчальний посібник / О. А. Лащенко, О. Ф. Кузькін. — Запоріжжя: ЗНТУ. — 2006. — 432 с.
 13. Спирин, И. В. Перевозки пассажиров городским транспортом : справочное пособие / И. В. Спирин. — М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. — 413 с.
 14. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. — М. : Высшая школа, 1980. — 535 с.
 15. Поттгофф, Г. Учение о транспортных потоках / Г. Поттгофф. — М. : Транспорт, 1975. — 344 с.
 16. Боровиков, В. П. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS: Основы теории и интенсивная практика на компьютере: учебное пособие / В. П. Боровиков, Г. И. Ивченко. — М. : Финансы и статистика, 2006. — 368 с.
 17. Кузькін, О. Ф. Оцінка витрат часу на підхід пасажирів до зупинок міського маршрутного пасажирського транспорту [Текст] / О. Ф. Кузькін, Є. І. Іванов // Східноєвропейський журнал передових технологій. — 2008. — №1/4 (31). — С. 14–16.
 18. Штанов, В. Ф. Критерий оценки эффективности и качества обслуживания пассажиров [Текст] / В. Ф. Штанов // Автодорожник Украины. — К., 1978. — №1. — С. 50–52.

19. Максимкин, В. М. Управление качеством перевозок пассажиров городскими автобусами [Текст] / В. М. Максимкин, И. В. Спирин. — М. : Академкнига, 1998. — 37 с.