

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний
(повне найменування факультету)

«Транспортні технології»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ЇХ РОЗПОДІЛУ ЗА
ВИДАМИ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ У МІСТІ ЗАПОРІЖЖЯ

Виконав: студент II курсу, групи T-313м

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

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

		<u>Віталій ЗМІЄВСЬКИЙ</u> (прізвище та ініціали)
Керівник		<u>Олексій КУЗЬКІН</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент		<u>Олександр АРТЮХ</u> (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортні технології»

Сергій ТУРПАК

«01» листопада 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ЗМІЄВСЬКОГО Віталія Володимировича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Визначення обсягів перевезень та їх розподілу за видами міського пасажирського електричного транспорту у місті Запоріжжя

керівник проєкту (роботи) д-р. техн. наук, проф. КУЗЬКІН Олексій Феліксович
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» листопада 2024 року №487

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 16 грудня 2024 р.

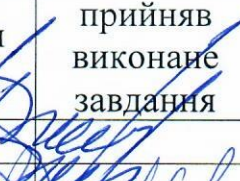
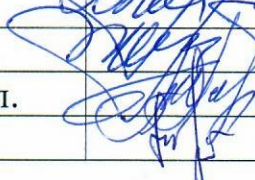
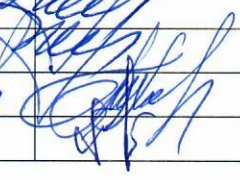
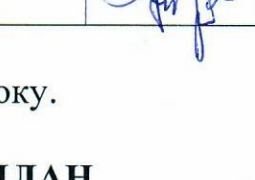
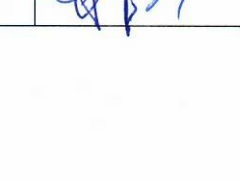
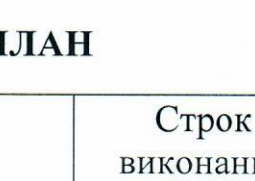
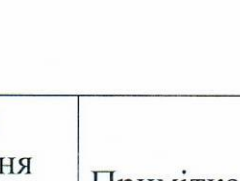
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) існуючі пасажиропотоки та обсяги перевезення пасажирів на маршруті, існуючі типи пасажирського рухомого складу, існуючі техніко-економічні показники роботи автобусів на маршруті №18, існуючий паспорт маршруту

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітична частина, 2. Основна частина, 2.1 Суть та математичні підходи до прогнозування показників функціонування транспортних систем, 2.2 Статистичний аналіз динамічних рядів транспортної рухливості населення на міському електротранспорті міста Запоріжжя, 2.3 Розробка прогнозних значень транспортної рухливості населення за методом експоненціального згладжування, 2.4 Обстеження пасажирських потоків на міському електричному транспорті у місті Запоріжжя та оцінка точності прогнозу, 3. Економічна частина, 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Презентація магістерської роботи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання «01» листопада 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина	28.10.2024-10.11.2024	
2	Основна частина	11.11.2024-15.12.2024	
3	Економічна частина	16.12.2024-29.12.2024	
4	Охорона праці	20.01.2025-26.01.2025	
5	Оформлення МР, перевірка МР на плагіат, отримання зовнішніх рецензій, захист магістерських робіт	27.01.2025-05.02.2025	

Студент(ка)

(підпис)

Віталій ЗМІЄВСЬКИЙ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Олексій КУЗЬКІН

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 84 с., 17 табл., 17 рис., 8 джерел, 1 дод.

МАРШРУТНА МЕРЕЖА, МІСЬКИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ОБСТЕЖЕННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ, ПАСАЖИРОПОТІК, СОБІВАРТІСТЬ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Об'єкт дослідження — мережа маршрутів міського електричного транспорту загального користування у місті Запоріжжя, Україна.

Мета роботи — визначення прогнозних обсягів перевезень пасажирів на маршрутах міського тролейбусного і трамвайного транспорту у місті Запоріжжя та їх розподіл між окремими видами міського електричного транспорту у місті.

Методи дослідження — визначення обсягів перевезень пасажирів виконувалось натурними методами обстеження пасажиропотоків та з використанням прогнозних моделей за методами простого експоненціального згладжування.

У магістерській роботі на підставі статистичних даних про обсяги перевезень пасажирів на мережі міського електричного транспорту (трамвай, тролейбус) у місті Запоріжжя розроблено прогнозну модель визначення обсягів перевезень пасажирів та їх розподіл між окремими видами електротранспорту міста. Отримане прогнозне значення транспортної рухливості населення порівняно з фактичними обсягами перевезень пасажирів у місті, отриманими шляхом безпосереднього обстеження пасажиропотоків на маршрутній мережі. На підставі отриманих обсягів перевезень пасажирів розраховано собівартість перевезень пасажирів на міському електричному транспорті у місті та визначено тариф на одну маршрутну поїздку пасажирів на міському тролейбусі та трамваї.

ЗМІСТ

	С.
Завдання на магістерську роботу	2
Вступ.....	4
1 Аналітична частина.....	7
1.1 Загальна характеристика міського електричного транспорту як засобу громадського транспорту у містах	7
1.2 Характеристика міського електротранспорту міста Запоріжжя.....	10
1.2.1 Тролейбус	10
1.2.2 Трамвай.....	18
1.3 Законодавство України у сфері міського електричного транспорту	25
1.4 Аналіз динаміки змінювання обсягів перевезень пасажирів на міському електричному транспорті міста Запоріжжя.....	31
1.5 Постановка задач дослідження.....	35
2 Основна частина.....	37
2.1 Суть та математичні підходи до прогнозування показників функціонування транспортних систем.....	37
2.2 Статистичний аналіз динамічних рядів транспортної рухливості населення на міському електротранспорті міста Запоріжжя.....	39
2.3 Розробка прогнозних значень транспортної рухливості населення за методом експоненціального згладжування.....	44
2.3.1 Суть методу експоненціального згладжування	44
2.3.2 Прогнозування транспортної рухливості населення на трамвайному транспорті міста Запоріжжя	47
2.3.3 Прогнозування транспортної рухливості населення на тролейбусному транспорті міста Запоріжжя	51
2.4 Обстеження пасажирських потоків на міському електричному транспорті у місті Запоріжжя та оцінка точності прогнозу.....	55
3 Економічна частина.....	62

3.1 Розрахунок повної планової собівартості послуг міського пасажирського електричного транспорту	63
3.2 Розрахунок тарифу на послуги з перевезень пасажирів міським електричним транспортом у місті Запоріжжя.....	72
4 Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях	74
4.1 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	74
Висновки	76
Перелік джерел посилання	77
Додаток А Заходи з забезпечення безпеки та цивільний захист	79

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальна характеристика міського електричного транспорту як засобу громадського транспорту у містах

Міський електричний пасажирський транспорт є одним з видів громадського транспорту у багатьох містах України та світу. У нашій країні до такого виду транспорту відносять традиційні види міського транспорту — тролейбуси, трамваї, метрополітен та міська електрифікована залізниця (міський електропоїзд) [1].

Історично саме міський електротранспорт, а саме міський трамвай був першим видом масового громадського транспорту. В Україні перша лінія електричного трамваю була відкрита у Києві у 1892 році. Вона проходила нинішнім Володимирівським спуском та поєднувала Поділ з вулицею Хрещатик. У 1894 році кінний трамвай у Львові був переведений на електричну тягу. Хоча трохи раніше, у 1880 році німецький інженер Сіменс продемонстрував на промисловій виставці прототип сучасного трамваю, що рухався з пасажирськими вагонами по замкненому колу.

Лінія ж першого тролейбусу в Україні була відкрита у Києві у 1935 році, ця лінія з'єднувала сучасну площі Українських героїв та Либідську. На першому маршруті працювали тролейбуси марки ЛК-5, вироблені на Київському заводі електричного транспорту.

У місті Запоріжжя перша лінія електричного трамваю була відкрита 17 липня 1932 року. Ця лінія з'єднувала сучасний Майдан Волі та пл. Запорізьку (Дніпровська ГЕС). Того ж року існуючу першу лінію подовжили до Південного залізничного вокзалу (нині — вокзал Запоріжжя-І).

Тролейбус як вид міського громадського транспорту з'явився у місті Запоріжжя у 1949 році. Перша лінія з'єднала комбінат «Запоріжсталь» та вул. Богдана Хмельницького та доставляла працівників комбінату з нинішнього пр. Соборного до металургійного підприємства.

Трамвай — є видом вуличного рейкового масового міського пасажирського транспорту, який перевозить пасажирів по рейковій колії (колія може бути уособленою або поєднуватись з рухом інших видів вуличного транспорту), укладений, як правило, на поверхні землі. Трамвайний транспорт має провізну спроможність 7 ... 9 тис. пасажирів на годину (у разі використання поодиноких пасажирських вагонів) або 10 ... 15 тис. пасажирів на годину у разі використання роботи трамваїв за системою багатьох одиниць (подвоєні трамвайні вагони у зчепі). Середня швидкість сполучення міського трамвайного транспорту дорівнює 15 ... 17 км/год. У разі застосування швидкісного трамваю з меншою частотою зупинок на маршрутах та використанні потроєних трамвайних поїздів швидкість сполучення сягає величини 25 ... 30 км/год. Для звичайного трамваю відстань між суміжними зупинками на маршруті у звичайних умовах складає від 400 м до 600 м, а для систем швидкісного трамваю від 800 до 1200 м. Живлення тягових трамвайних вагонів здійснюється від контактної мережі, розташованої над трамвайними коліями, напруга у мережі складає 600 В постійного струму, рейкова колія служить від'ємним полюсом для постійного струму.

Тролейбус — є видом вуличного безрейкового колісного масового міського пасажирського транспорту, який перевозить пасажирів рухомим складом, що рухається у транспортному потоці спільно з іншими транспортними засобами, та живлення якого здійснюється з контактної мережі, розташованої над проїзною частиною. Тролейбусний вид транспорту у містах забезпечує швидкість сполучення 16 ... 18 км/год, а його провізна спроможність дорівнює 4 ... 8 тис. пасажирів на годину. В якості рухомого складу зазвичай використовуються поодинокі або зчленовані троллейбуси великої пасажиромісткості.

Останніми десятиліттями у містах світу і в Україні використовують більш сучасні та прогресивні засоби електротранспорту. Традиційний троллейбус з живленням від контактної мережі витісняється троллейбусами з автономним ходом (з акумуляторними батареями, що забезпечують можливість подолання

ділянок значної довжини без необхідності живлення від контактної мережі) та електробуси (які взагалі не мають струмознімачів та живляться виключно від акумуляторів).

До переваг трамваю та тролейбусу як видів міського громадського транспорту слід віднести:

- значно більша екологічна безпека ніж традиційний автобусний транспорт з дизельним або газовим двигуном;
- відносно низькі витрати на організацію руху на мережі;
- відсутність потреби у щоденній заправці паливом.
- можливість відокремлення руху від інших транспортних засобів, що рухаються у транспортному потоці (для трамваю), що забезпечує високу провізну спроможність та відносно високу швидкість сполучення.

У той же час, традиційному трамваю та тролейбусу притаманні низка недоліків, до яких можна віднести такі:

- низька надійність забезпечення транспортного обслуговування у разі непередбачуваних технічних поломок на маршрутній мережі, особливо для трамваю;
- відсутність можливості організації комбінованих режимів руху на тролейбусних і трамвайних маршрутах (таких, як експресний, скорочені рейси тощо);
- складність у оперативному маневруванні рухомим складом між маршрутами;
- необхідність відведення значних площ під трамвайні колії та (або) виділені смуги для руху тролейбусів (ширина смуги відведення трамваю на двоколійних ділянках сягає 7,5 м);
- значні капітальні вкладення на організацію руху (на облаштування контактної мережі та тягових електричних підстанцій, облаштування колії, трамвайних та тролейбусних стрілочних переводів, спеціальних частин контактної мережі, організацію розвороту трамвайного і тролейбусного рухомого складу на кінцевих станціях маршрутів.

1.2 Характеристика міського електротранспорту міста Запоріжжя

Міський електричний пасажирський транспорт загального користування у місті Запоріжжя представлений традиційним міським тролейбусом та трамваєм. У місті на даний час (2024 р.) діє тролейбусна система (відкрита у 1949 році) та трамвайна система (відкрита у 1932 році). Нижче наведена характеристика кожної з систем та рухомого складу, що використовується для перевезень пасажирів у місті.

1.2.1 Тролейбус

Тролейбусний транспорт у місті Запоріжжя на сьогодні переживає не найкращі часи. Протягом останніх десятиліть довжина тролейбусної мережі та кількість тролейбусних маршрутів у місті постійно скорочується. Закриті ділянки та знято контактну мережу на тролейбусних лініях через мости Преображенського та острів Хортиця, від пр. Металургів до Заводського району та заводів ЗТМК та Кремнійполімер. Останньою побудованою тролейбусною лінією у місті Запоріжжя стало подовження існуючої маршрутної мережі від залізничного вокзалу «Запоріжжя-1» до четвертого Південного мікрорайону Комунарського району (нинішній тролейбусний маршрут № 3). Останніми роками міською владою для комунального підприємства «Запоріжелектротранс» було придбано декілька тролейбусів на автономному ході, які можуть рухатись частину траси маршруту без облаштування контактної мережі, що дозволило до початку війни в Україні відкрити тролейбусні маршрути через мости Преображенського на острів Хортиця та з'єднати тролейбусним сполученням Дніпровський та Хортицький райони міста по вул. Істоміна.

1.2.1.1 Тролейбусна маршрутна мережа

Тролейбусна мережа міста Запоріжжя станом на осінь 2024 року охоплює Комунарський, Олександрівський, Вознесенівський та Дніпровський райони міста, розташовані на правому та лівому березі Дніпра та налічує п’ять діючих тролейбусних маршрутів:

- № 3 «4-й Південний мкрн — пл. Запорізька» (скорочений);
- № 8 «Сімферопольське шосе — пл. Запорізька» (скорочений);
- № 9 «БК «ЗАЛК» — вул. Сєдова»;
- № 14 «Сімферопольське шосе — Набережна»;
- № 17 «вул. Сєдова — пл. Запорізька» (скорочений).

Скорочення тролейбусних маршрутів № 3, № 8, № 11 та № 17 відбулося через пошкодження проїзної частини шляхопроводу Дніпровської ГЕС, що унеможливило рух великогабаритного електротранспорту та автобусів з лівого берега на правий через греблю. Частини тролейбусних маршрутів № 3 (від вул. Піщаної), № 8 (від заводу «Запоріжкабель»), № 11 (від арматурного заводу) до пр. Металургів були замінені тимчасово діючими автобусними маршрутами.

Схема тролейбусної мережі міста Запоріжжя наведена на рис. 1.1, а характеристика діючих тролейбусних маршрутів наведена у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 — Характеристика тролейбусних маршрутів міста Запоріжжя

Номер та назва маршруту	Довжина маршруту, км, за напрямками руху		Тривалість руху, хв., за напрямками руху		Кількість зупинок, од.
	прямий	зворотний	прямий	зворотний	
№ 3 4-й Південний мкрн — пл. Запорізька	14,4	14,2	66	66	25
№ 8 Сімферопольське шосе — пл. Запорізька	14,6	14,1	64	64	23
№ 9 БК «ЗАЛК» — вул. Сєдова	9,2	9,0	44	43	21

Кінець таблиці 1.1.

Номер та назва маршруту	Довжина маршруту, км, за напрямками руху		Тривалість руху, хв., за напрямками руху		Кількість зупинок, од.
	прямий	зворотний	прямий	зворотний	
№ 14 Сімферопольське шосе — Набережна	16,5	16,6	71	73	29
№ 17 вул. Сєдова — пл. Запорізька	6,3	6,4	33	33	13

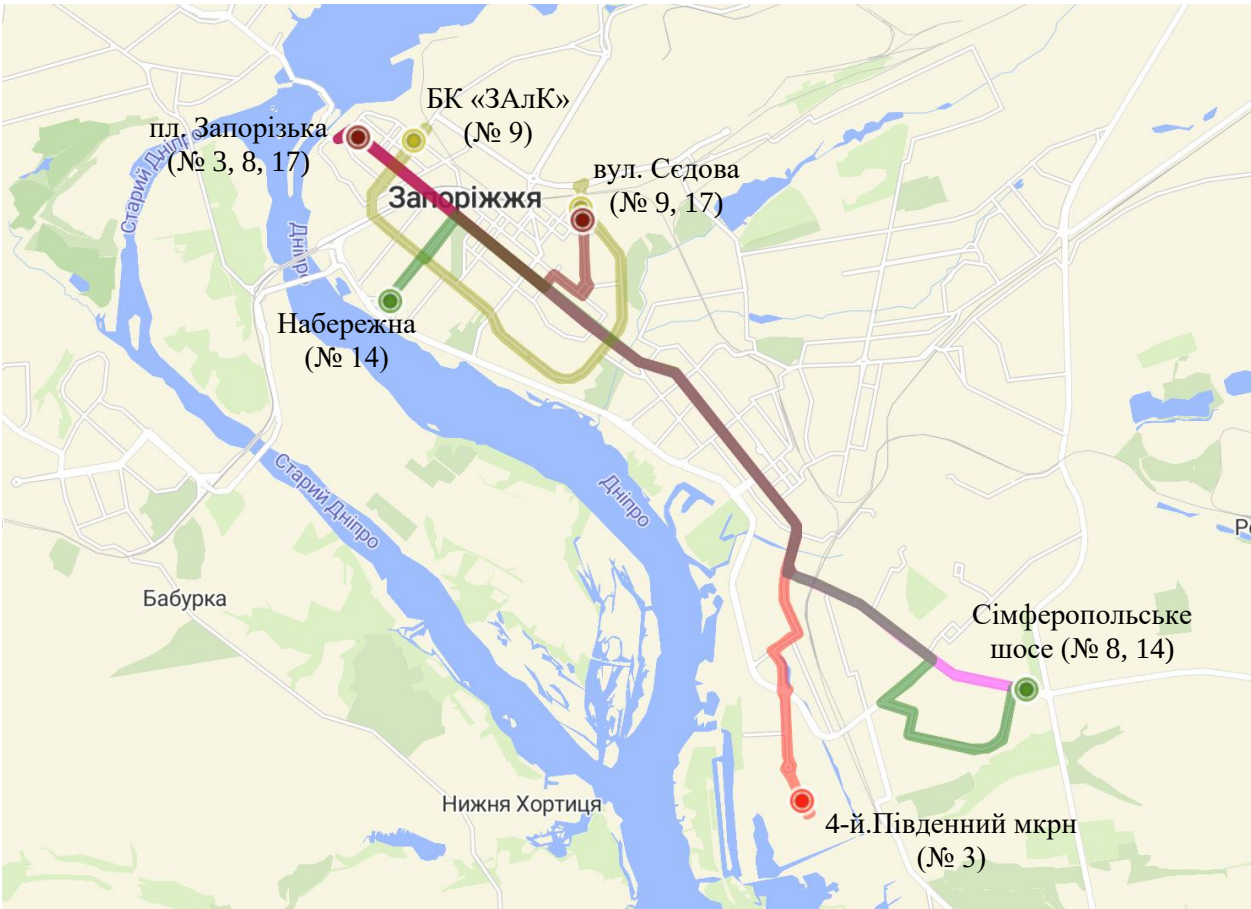


Рисунок 1.1 — Схема тролейбусних маршрутів у місті Запоріжжя (станом на 01.11.2024 року)

Правобережна частина контактної мережі тролейбуса на даний час не використовується для регулярного руху, але може бути використана як технічна лінія.

1.2.1.2 Рухомий склад тролейбусного транспорту

Рухомий склад тролейбусного транспорту в місті Запоріжжя є різномарочним. Для перевезення пасажирів на маршрутах використовуються тролейбуси марок Дніпро, ЗІУ, ЮМЗ, Skoda, ЛАЗ та Van Hool. Технічні характеристики використовуваного на маршрутах у місті Запоріжжя рухомого складу тролейбусного транспорту наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 — Характеристика рухомого складу тролейбусного транспорту у місті Запоріжжя

Модель тролейбуса	Довжина, м	Місць для сидіння	Загальна місткість	Потужність двигуна, кВт	Максимальна швидкість, км/год
Дніпро Т-103	12,5	25	100	170	80
Дніпро Т-203	12,2	31	100	180	65
ЗІУ 682	11,6	30	126	110	60
ЮМЗ Т2	11,6	26	100	130	60
Skoda Т14	11,3	24	56	140	65
ЛАЗ Е183	12,0	30	100	140	55
Van Hool AG300T	17,9	49	145	228	90

Тролейбуси Дніпро Т-103 та Т-203 виготовлялися у місті Дніпро Південним машинобудівним заводом та надійшли у місто Запоріжжя у 2015 році у кількості 11 одиниць (6 одиниць моделі Т-103 та 5 одиниць моделі Т-203). Тролейбус має частково низьку підлогу з несучим вагонним кузовом та оснащений двигуном постійного струму ДК-211М потужністю 170 кВт (Т-103) або ТАД-280 (Т-203). У порівнянні з тролейбусом моделлю Т-103, модель Т-203 має збільшену потужність двигуна та оснащений літій-іонною батареєю ємністю 100 А-год (з напругою 550 В). Тролейбус з автономним ходом Дніпро Т-203 має можливість долати ділянки без контактної мережі з живленням від

акумулятора довжиною до 20 км. Тривалість повної зарядки акумуляторної батареї від штатної контактної мережі складає близько 40 хвилин. Габаритне креслення тролейбусів Т-103 та Т-203 наведено на рис. 1.2.

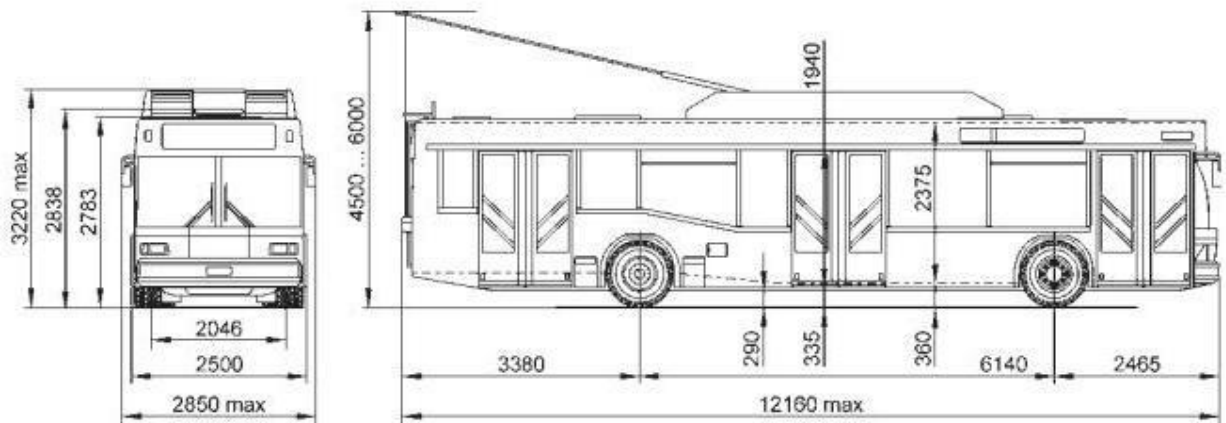


Рисунок 1.2 — Габаритне креслення тролейбусів Дніпро Т-103, Дніпро Т-203

Тролейбус великої пасажиромісткості ЗІУ-682 (ЗІУ-9) бере свій початок ще з часів СРСР та вироблявся з 1972 року у місті Енгельс російської федерації. На даний час у місті Запоріжжя на балансі тролейбусного парку № 1 знаходяться 5 таких тролейбусів випуску 1991–1992 років. Тролейбус має двигун ДК-210 потужністю 110 кВт з напругою у контактній мережі 550 В постійного струму. Для входу та виходу пасажирів передбачено три пасажирських двері — передню вузьку, середню та задню — широкі. Габаритне креслення тролейбуса ЗІУ-682 наведено на рис. 1.3.

Тролейбуси ЮМЗ Т2 випускалися на Південному машинобудівному заводі ім. Макарова у місті Дніпро (Україна) з 1993 по 2011 рік. Тролейбус побудований за високопідлоговою схемою кузова, оснащений двигуном ЕД138 потужністю 130 кВт, трьома автоматичними дверима для входу та виходу пасажирів. Наразі у місті Запоріжжя залишилось в експлуатації дві одиниці цієї моделі тролейбусів. Габаритне креслення тролейбуса ЮМЗ Т2 наведено на рис. 1.4.

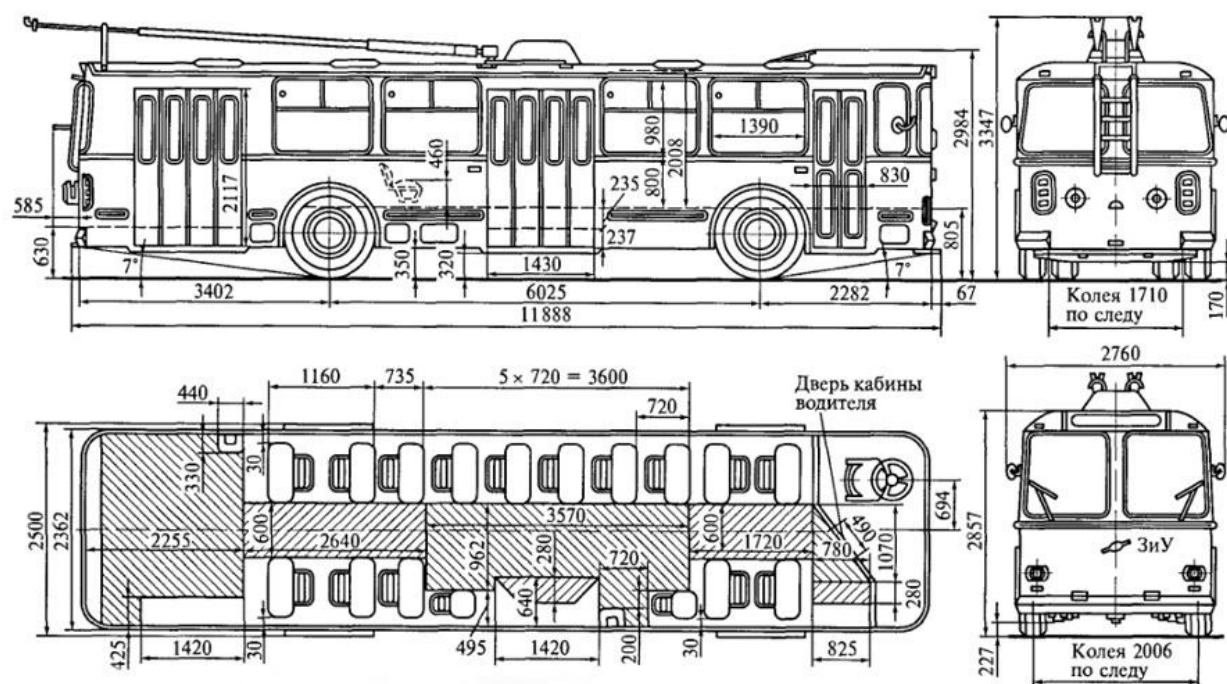


Рисунок 1.3 — Габаритне креслення тролейбуса ЗІУ-682

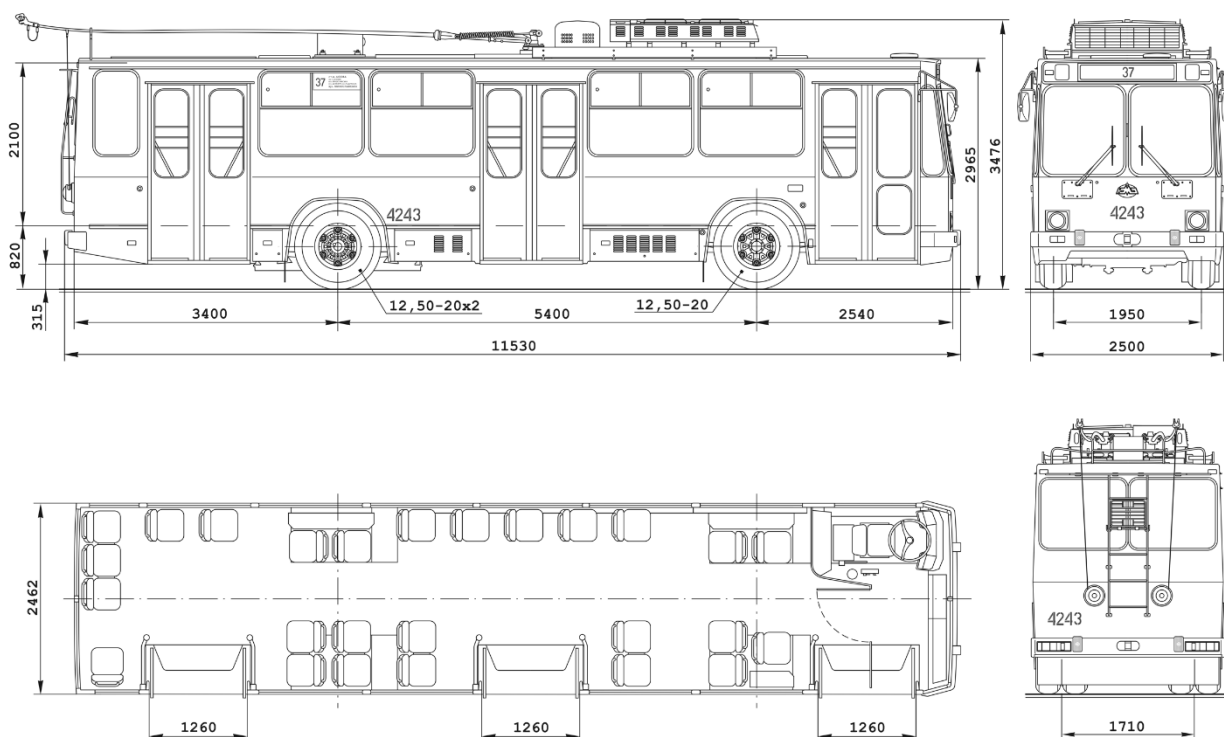


Рисунок 1.4 — Габаритне креслення тролейбуса ЮМЗ Т2

Тролейбус Skoda 14Tr випускався чехословацьким, а пізніше — чеським машинобудівним підприємством Skoda Ostrov починаючи з 1980 року. Тролейбус має двостворкові пневматичні двері планетарного типу для пасажирообміну, напівм'які сидіння у салоні, великі кватирки на бічних скляних вікнах та люки на стелі для вентиляції салону. Всього в експлуатації на даний час у місті Запоріжжя знаходиться 4 тролейбуси такого типу. Габаритне креслення тролейбусу Skoda 14Tr показане на рис. 1.5.

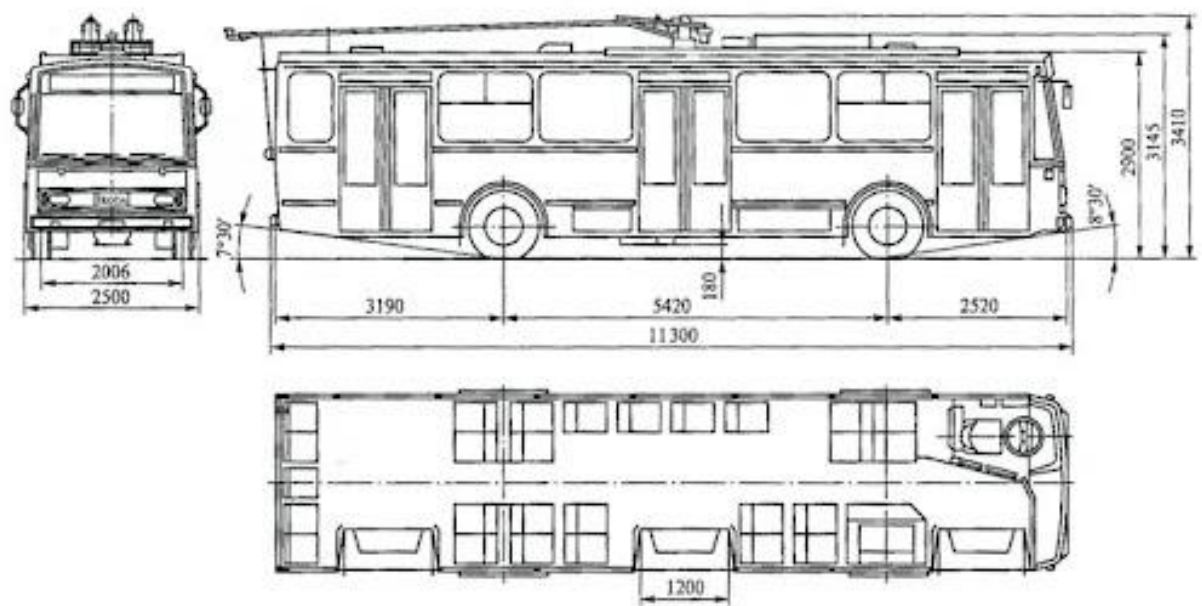


Рисунок 1.5 — Габаритне креслення тролейбусу Skoda 14Tr

Тролейбус великої пасажиромісткості ЛАЗ-Е183 (або ЕлектроЛАЗ-12) випускався в Україні на Львівському автобусному заводі з 2006 по 2013 рік (усього випущено 261 одиниця). Тролейбус має металевий кузов з антикорозійною обробкою, імпоротною електронною системою управління, що забезпечує економію електроенергії у порівнянні з тролейбусами, обладнаними реостатно-контакторною системою управління, до 40 %, три широкі двері для здійснення пасажирообміну. На даний час у місті Запоріжжя

експлуатується чотири одиниці такого типу тролейбусів (бортові номери 208, 211, 212 та 213). Габаритне креслення тролейбусу ЛАЗ-Е183 наведено на рис. 1.6.

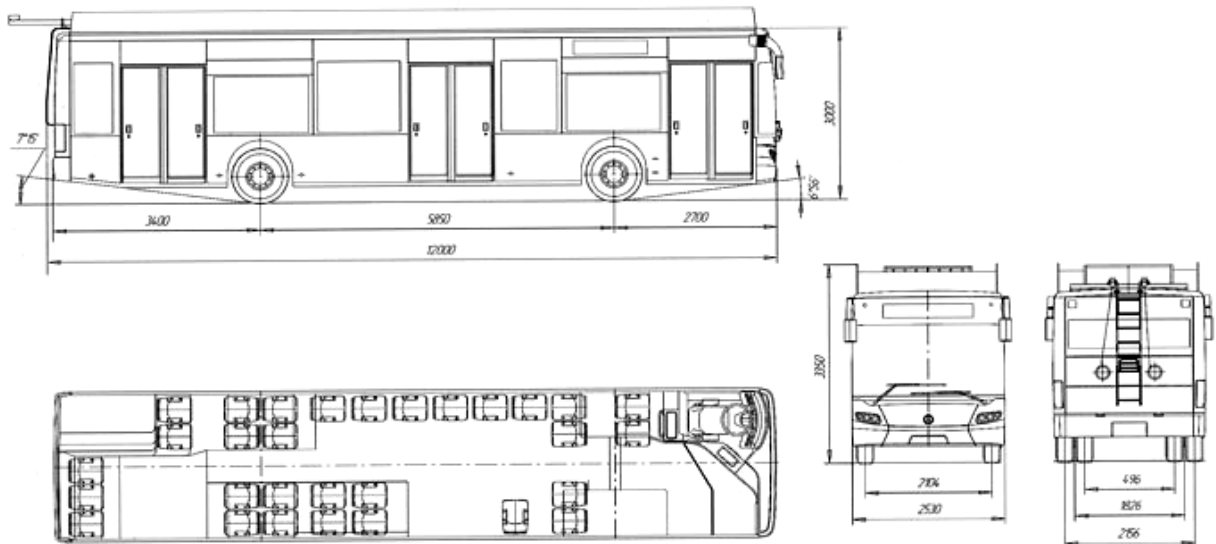


Рисунок 1.6 — Габаритне креслення тролейбуса ЛАЗ-Е183

Зчленований міський тролейбус Van Hool G300T вироблявся нині збанкрутілим машинобудівним підприємством Van Hool, розташованим у місті Лір (Бельгія). Тролейбус має довжину 18 м, три широкі пасажирські двері, а також допоміжну силову установку у вигляді дизельного двигуна, що дає можливість тролейбусу долати ділянки маршрутної мережі без живлення від контактного дроту. Слід зауважити, що місто Запоріжжя є єдиним підприємством міського електротранспорту, яке експлуатує тролейбуси подібної моделі, усього на балансі ЗКПМЕТ «Запоріжелектротранс» на даний час обліковується 8 одиниць, з яких п'ять — експлуатуються, один — не експлуатується, а два — виведені з експлуатації та списані. Габаритне креслення зчленованого міського тролейбусу Van Hool G300T наведено на рис. 1.7.

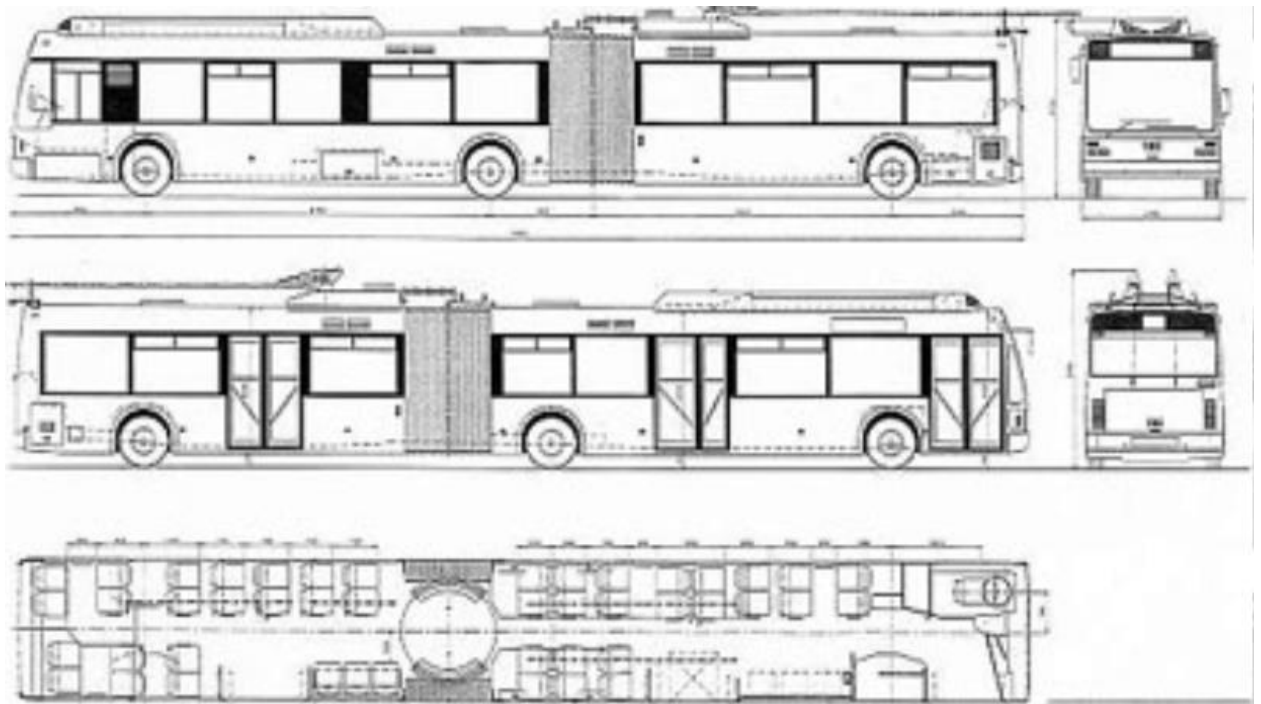


Рисунок 1.7 — Габаритне креслення тролейбуса Van Hool G300T

1.2.2 Трамвай

Довжина трамвайної мережі у місті Запоріжжя на кінець 2024 року складає 99,4 км (максимальна довжина за період існування склала 110,2 км), трамвайна система налічує 6 трамвайних маршрутів. Кількість маршрутів на мережі протягом її існування постійно змінювалась, втім останніми роками вона зменшується. У 2002 році Запорізька міська рада ухвалила рішення про припинення трамвайного руху проспектом Соборним від ТЦ «Україна» до Річкового порту. У 2005 році припинено рух трамваїв та розібрано трамвайні колії на ділянці між вул. Правди та ПС «Юність». У 2012 році закрито та виведено з експлуатації трамвайне депо № 2 по вул. Мирослава Симчича. У 2013 році повністю демонтовано одноколійну трамвайну лінію від майдану Волі до Річкового вокзалу, яка з 1975 року не використовувалась для

регулярного руху трамваїв. У 2018 році було закрито рух на ділянці трамвайної мережі між зупинками «Дніпроспецсталь» та «Зелений Яр».

1.2.2.1 Трамвайна маршрутна мережа

Станом на 01.11.2024 року трамвайна система міста Запоріжжя налічує шість трамвайних маршрутів (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 — Характеристика трамвайних маршрутів міста Запоріжжя

Номер та назва маршруту	Довжина маршруту, км, за напрямками руху		Тривалість руху, хв., за напрямками руху		Кількість зупинок, од.
	прямий	зворотний	прямий	зворотний	
№ 3 Вокзал Запоріжжя-1 – Запоріжжя Ліве	14,4	14,4	62	63	28
№ 10 Майдан Волі – М'ясокомбінат	8,0	7,5	41	34	20
№ 12 Майдан Волі – Зелений Яр	6,5	5,9	35	30	17
№ 14 Автострада – Запоріжцирк	12,9	13,3	65	67	31
№ 15 Майдан Волі – Шевченківський жмс	7,1	6,8	41	35	19
№ 16 Вокзал Запоріжжя-1 – Павло-Кічкас	17,9	17,7	76	78	39

Схема трамвайних маршрутів міста Запоріжжя наведена на рис. 1.8. Усі кінцеві станції, окрім зупинки «Вокзал Запоріжжя-1» належать одному маршруту. Зупинка «Майдан Волі» хоча і є кінцевою для трамвайних маршрутів № 10, № 12 та № 15, є прохідною, не обладнана розворотним кільцем та не забезпечує розворот трамвайних вагонів.

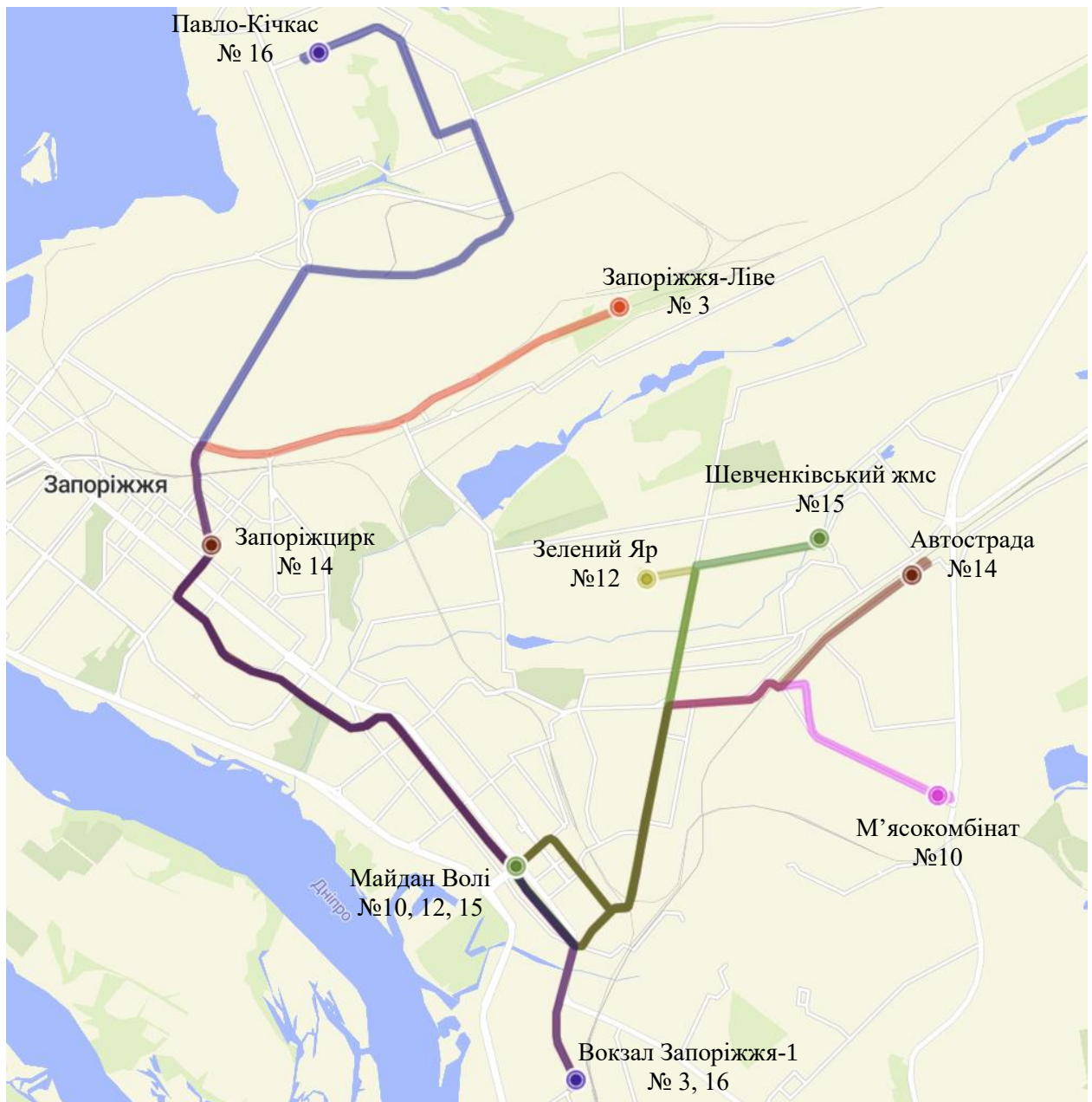


Рисунок 1.8 — Схема трамвайних маршрутів міста Запоріжжя

1.2.2.2 Рухомий склад трамвайного транспорту

На трамвайній мережі міста Запоріжжя експлуатуються трамвайні вагони чотирьох основних типів: Tatra KT4D, Tatra T3SU, Tatra T3UAKBП, Tatra T6B5SU, побудовані або зібрані на базі трамвайних вагонів різних років

чеського підприємства SKD (Чесько-Моравська Колбен Данек Група). Само підприємство було засновано у 1850 році та у різні роки виробляло карети, вагони та автомобілі. На даний час через відсутність потужних пасажиропотоків та нестачі рухомого складу місто не використовує технологію роботи трамвайних составів за системою багатьох одиниць. Трамвайна колія у місті має ширину 1524 мм. Електроживлення рухомого складу здійснюється з повітряної контактної мережі напругою 550 В постійного струму.

Технічні характеристики використовуваного на маршрутах у місті Запоріжжя рухомого складу трамвайного транспорту наведені у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 — Характеристика рухомого складу трамвайного транспорту у місті Запоріжжя

Модель трамвая	Довжина, м	Місць для сидіння	Загальна місткість	Потужність двигуна, кВт	Максимальна швидкість, км/год
Tatra KT4D	18,11	34	141	4×45	65
Tatra T3SU	14,00	34	111	4×40	65
Tatra T3UAKBP	14,00	34	111	4×24	65
Tatra T6B5SU	15,3	40	120	4×45	65

Трамвайний вагон Tatra KT4D представляє собою зчленований двосекційний однобічний чотиривісний трамвайний вагон, кузов якого складається з двох частин, при цьому кожна з цих частин опирається на окремий двовісний візок. Такі трамвайні вагони виготовлялись з 1976 по 1997 рік. Початково цей трамвайний вагон має візки для колії від 1000 мм до 1435 мм, але для міста Запоріжжя бувші у вжитку кузова трамвайних вагонів були переставлені на модернізовані візки колії 1524 мм. Завдяки вузькому кузову та шарнірній конструкції, такий трамвайний вагон добре вписується у криві ділянки колії малого радіуса та в умови руху на вузьких міських вулицях. Наразі у місті Запоріжжя експлуатується 25 трамвайних вагонів такого типу. Габаритне креслення трамвайного вагона моделі Tatra KT4D наведене на рис. 1.9.

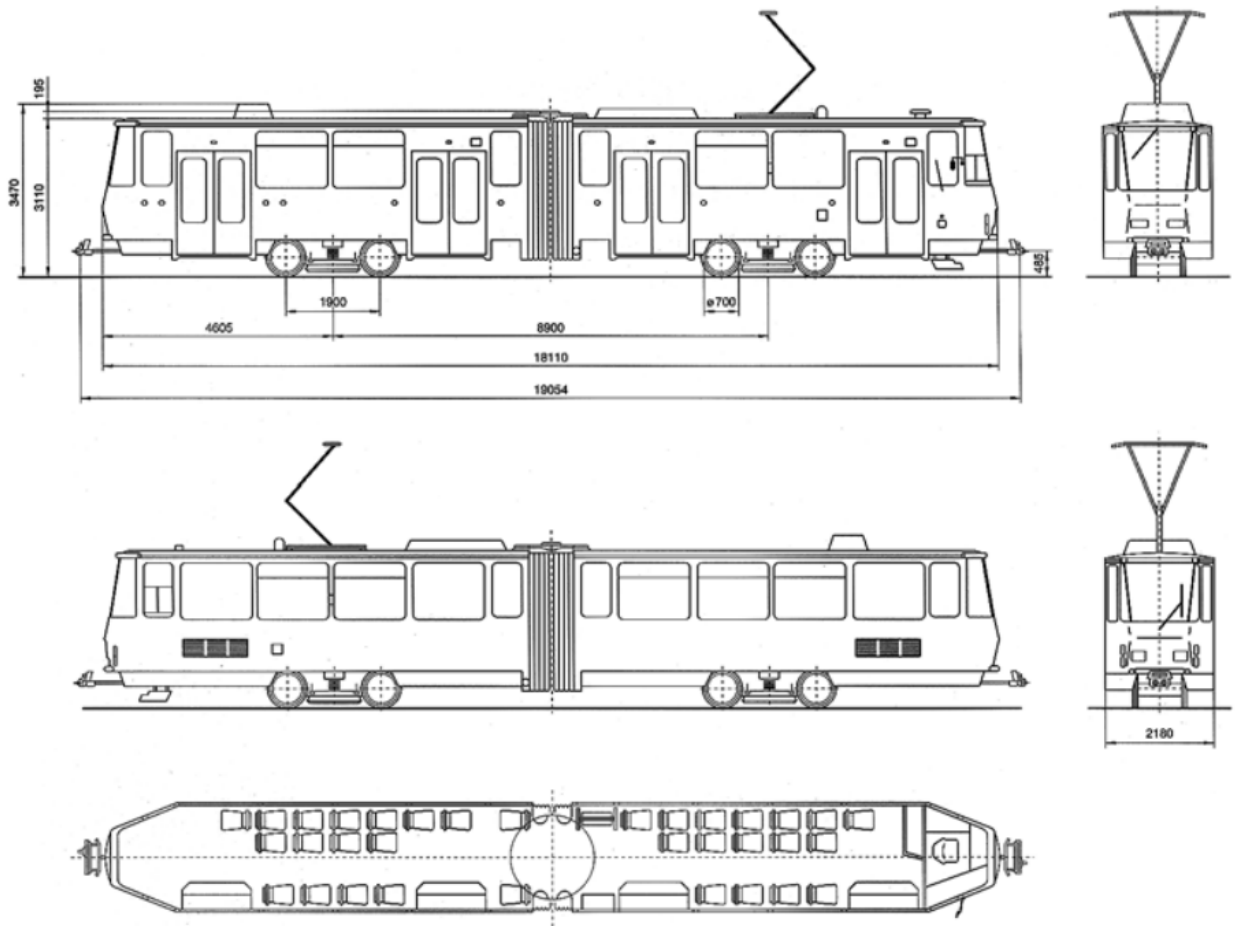


Рисунок 1.9 — Габаритне креслення трамвайного вагона Tatra KT4D

Трамвайні вагони моделі T3SU вироблялися підприємством СКД з 1960 по 1997 рік і є дуже поширеними на теренах колишнього СРСР. За часи виробництва було виготовлено майже 14 тис. трамвайних вагонів такої моделі. В залежності від модифікації такі трамвайні вагони мають дві або три пасажирські двері з зі схемою розташування пасажирських сидінь 1+1 (однорядні сидіння вздовж кожного борту) або 1+2 (однорядні сидіння вздовж лівого борту та дворядні сидіння вздовж правого борту). Станом на кінець 2024 року у місті Запоріжжя продовжується експлуатація 5 трамвайних вагонів такого типу. Габаритне креслення трамвайного вагону моделі T3SU наведено на рис. 1.10.

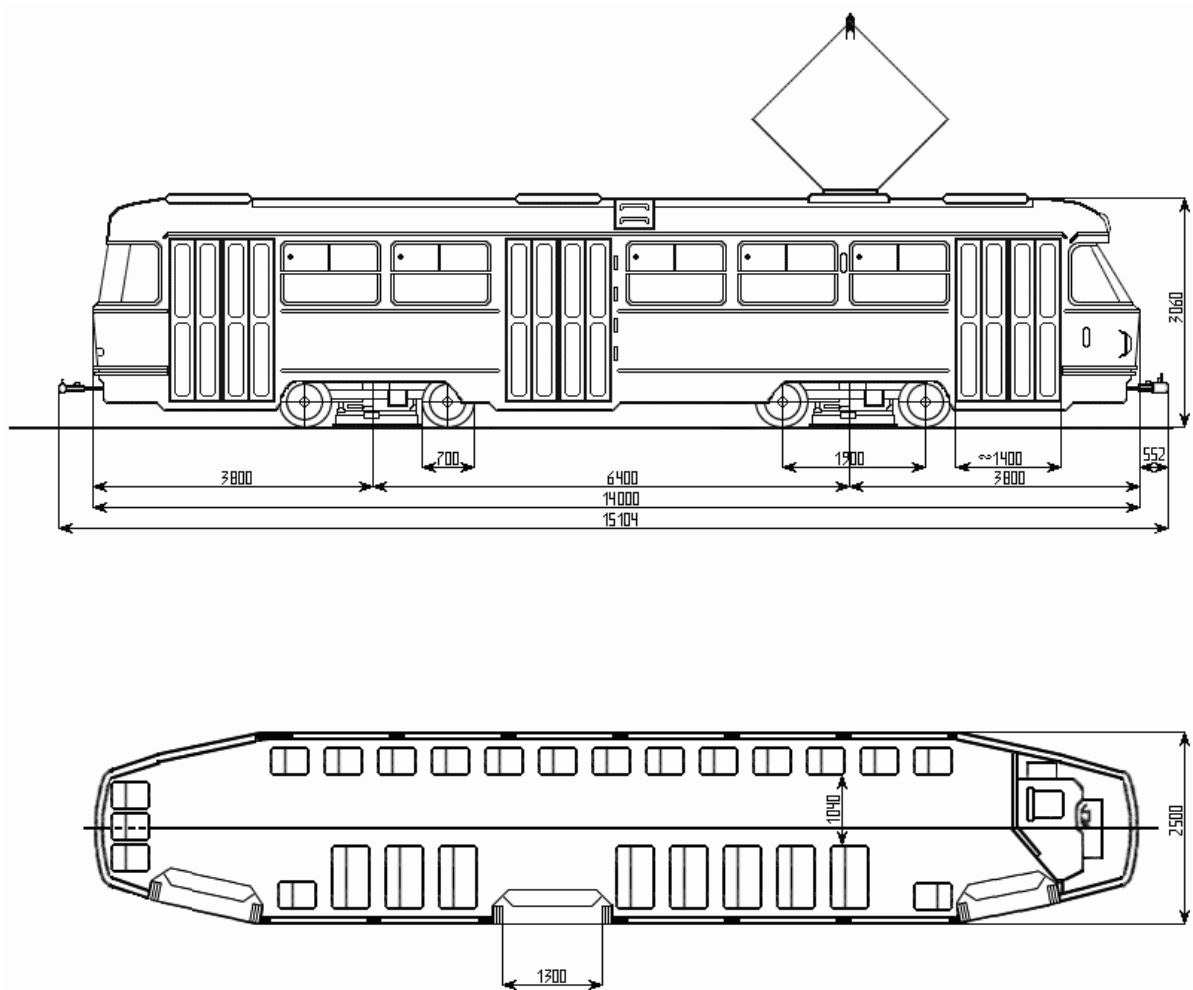


Рисунок 1.10 — Габаритне креслення трамвайного вагону T3SU

Трамвайні вагони моделі Tatra T3UAKBП є частково низькопідлоговими чотиривісними вагонами, які виробляються на базі трамвайних кузовів виробництва ТОВ «Політехносервіс» у місті Калуш (Україна) з використанням візків та модернізованої електроніки та системи управління трамвайних вагонів Tatra T3SU. Виробництво таких вагонів здійснювалось безпосередньо у місті Запоріжжя на базі підприємства ЗКПМЕТ «Запоріжелектротранс», усього зібрано (модель Т-3UA-3-ЗП) та (або) капітально відремонтовано (модель ТЗ-КВП) 15 трамвайних вагонів в рамках програми міського голови міста Запоріжжя Володимира Буряка «Запорізький трамвай». зовнішній вигляд трамвайного вагона Tatra T3UAKBП наведений на рис. 1.11.



Рисунок 1.11 — Зовнішній вигляд трамвайного вагону Tatra T3UAKBVP

Трамвайний вагон Tatra T6B5SU представляє собою чотирирівний односекційний трамвайний вагон з високою підлогою, який випускався підприємствами SKD Tatra (1985–1996) та вітчизняним «Татра-Юг» (міста Дніпро, Одеса — Україна, 1996–2007). Вагон має три ширмові двері для посадки та висадки пасажирів, вентиляція вагону здійснюється через кватирки у бічних вікнах вагону. Управління вагоном — тиристорне, з безрезистивним

пуском та резистивним гальмуванням. Остання партія нових вагонів Tatra T6B5SU надійшла до міста Запоріжжя у 1996 році, станом на листопад 2024 року у місті продовжується експлуатація 16 трамвайних вагонів Tatra T6B5SU. Габаритне креслення трамвайного вагону Tatra T6B5SU наведено на рис. 1.12.

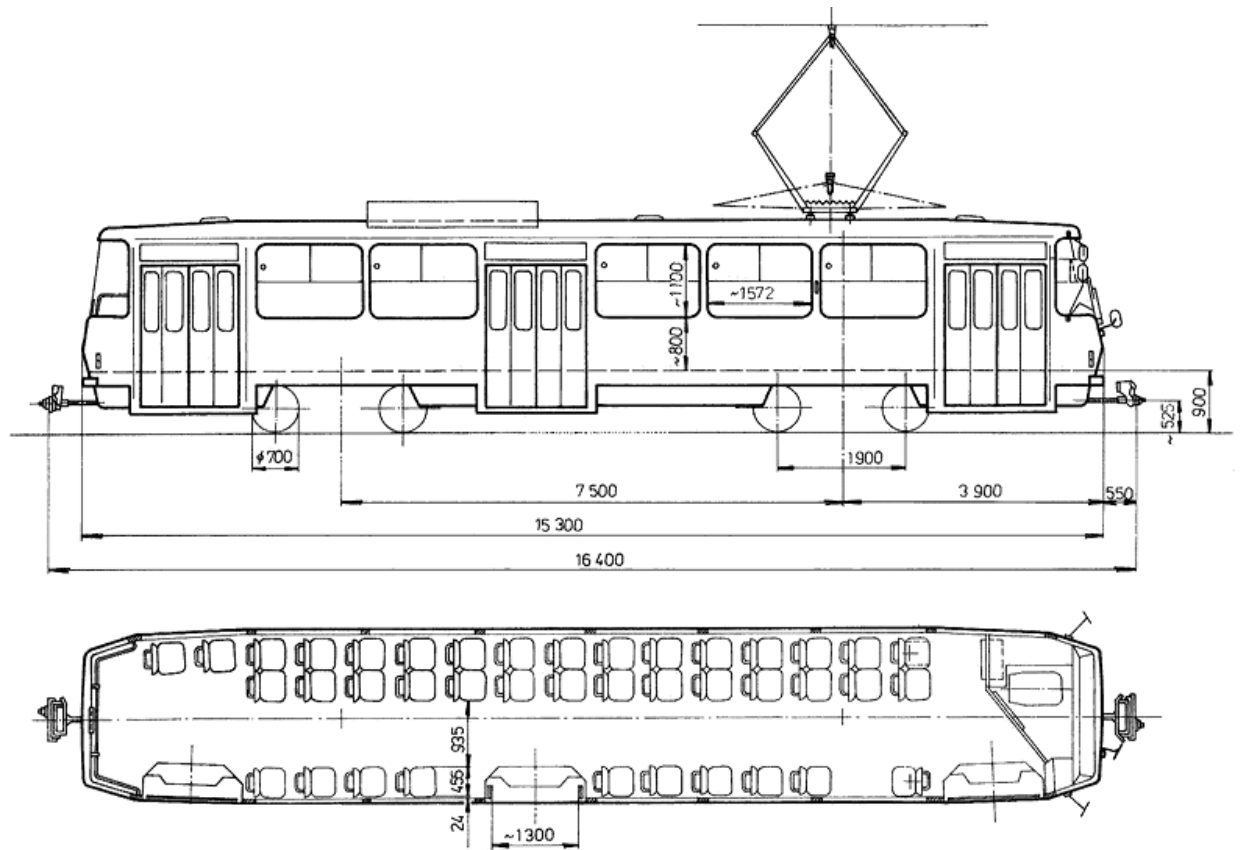


Рисунок 1.12 — Габаритне креслення трамвайного вагону Tatra T6B5SU

1.3 Законодавство України у сфері міського електричного транспорту

В сфері організації перевезень пасажирів у містах міським електричним транспортом в Україні діє низка законодавчих і нормативно-правових актів, зокрема [2]:

– Закон України «Про транспорт» (введений в дію постановою Верховної Ради України № 233/94-ВР від 10.11.1994 року, зі змінами);

– Закон України «Про міський електричний транспорт» (введений дію постановою Верховної Ради України № 1914 – IV від 29.06.2004 року, зі змінами);

– Правила надання населенню послуг з перевезень міським електротранспортом (затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 23.12.2004 р. № 1735);

– Правила експлуатації трамвая і тролейбуса (затверджені наказом Міністерства інфраструктури України від 03.02.2020 р. № 36);

– Порядок формування тарифів на послуги міського електричного транспорту (трамвай, тролейбус) (затверджені наказом Міністерства інфраструктури України від 25.11.2013 р. № 940);

– Положення про робочий час і час відпочинку водіїв трамвая і тролейбуса (затвердженого наказом Міністерства інфраструктури України від 15.09.2014 р. № 444);

– Стандарт Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України СОУ 60.2 – 33886519 – 0002:2006 «Послуги міського електричного транспорту. Показники якості» (прийняті наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 19.04.2006 р. № 130).

Стаття 21 Закону України «Про транспорт» визначає міський електротранспорт як один з видів транспорту загального користування у єдиній транспортній системі України. До його складу входять підприємства міського електричного транспорту, які здійснюють перевезення пасажирів з приданим ним рухомим складом, трамвайними і тролейбусними лініями, ремонтно-експлуатаційні депо та службові приміщення, споруди енергетичного господарства та зв'язку (стаття 34).

Порядок надання транспортних послуг міським електричним транспортом згідно статті 4 Закону України «Про міський електричний транспорт» повинен відповідати таким вимогам:

- перевезення пасажирів повинні бути організовані надійно, з урахуванням можливих незапланованих перерв у русі та можливості поновлення перевезень після їх усунення у разі виникнення;

- при організації перевезень пасажирів, визначенні необхідної кількості рухомого складу та складенні графіків руху на міському електротранспорті необхідно враховувати коливання пасажиропотоків протягом доби;

- швидкості руху на трамвайних і тролейбусних маршрутах повинні встановлюватись з урахуванням технічних та експлуатаційних показників рухомого складу, стану колії та контактної мережі, вимог безпеки руху;

- технічний стан рухомого складу електротранспорту, що випускається на маршрути, повинне відповідати встановленим законодавством України нормативам;

- транспортні послуги міського електричного транспорту пасажирам повинні надаватися з урахуванням норм забезпечення обслуговування міським електричним транспортом та показників якості надання транспортних послуг;

Основною формою транспортного обслуговування населення міським електротранспортом є організація перевезень пасажирів за маршрутною технологією згідно розкладу руху, який затверджується перевізником за погодженням із організатором регулярних перевезень (стаття 5). Перевізник зобов'язаний забезпечувати належний рівень надання транспортних послуг пасажирам та їх безпеку під час перевезень, а також належну якість цих послуг (стаття 13).

Пункт 10 Правил надання населенню послуг з перевезень міським електротранспортом встановлює, що максимальний інтервал руху на маршрутах міського електротранспорту складає 10 хвилин, за інших умов перевезення пасажирів здійснюються за похвилинним розкладом руху. На кожний з маршрутів складається Паспорт, який містить схему маршруту, акти заміру протяжності маршруту та тривалості руху між кінцевими зупинками у кожному з напрямків руху, інформацію щодо результатів проведення пробного рейсу та обстеження пасажирських потоків на маршруті (пункт 17).

Згідно п. 1 розділу 2 глави X Правил експлуатації трамвая і тролейбуса, розклад руху на маршрутах міського електротранспорту повинен забезпечувати:

- безпеку руху та ефективне використання рухомого складу на маршрутах у відповідності частоти руху обсягам пасажирських потоків, що склалися на маршрутах;

- максимально можливу експлуатаційну швидкість з урахуванням місцевих умов, зокрема, вимог Правил дорожнього руху, техніко-експлуатаційних характеристик рухомого складу, інтенсивності руху інших видів транспорту та пішоходів;

- узгодження розкладів руху між окремими маршрутами міського електричного транспорту, а у разі необхідності — також з маршрутами інших видів міського пасажирського транспорту;

- дотримання вимог законодавства щодо режимів праці та відпочинку водіїв трамваїв та тролейбусів;

- забезпечення безперебійного функціонування та організації технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, контактної мережі, рейкової колії та інших об'єктів міського електричного транспорту.

Положення про робочий час і час відпочинку водіїв трамвая і тролейбуса визначає, що до робочого часу водіїв міського електротранспорту включається змінний період керування, підготовчо-заклучний період, час простоїв не з вини водія, час проведення медичних оглядів перед виїздом на маршрут та після повернення з маршруту, перебування водіїв у оперативному резерві, проведення робіт з усунення технічних поламок рухомого складу безпосередньо на маршруті, час простою рухомого складу на передбачених розкладом руху зупинках для посадки та висадки пасажирів, час міжрейсового простою на кінцевих станціях.

Нормальна тривалість робочого тижня водія трамвая і тролейбуса не повинна перевищувати 40 годин на тиждень, при цьому за умови використання шестиденного робочого тижня тривалість щоденної роботи не може

перевищувати 7 годин, а напередодні вихідних днів — 5 годин на добу. Напередодні святкових та неробочих днів тривалість робочого часу водіїв тролейбуса і трамвая скорочується на одну годину.

У разі неможливості додержати за умовами роботи встановлену для водіїв трамвая і тролейбуса тривалість робочої зміни на день та (або) на тиждень, допускається застосування підсумованого обліку робочого часу, при якій нормальна тривалість робочого дня водія не повинна перевищувати 10 годин на добу.

За погодженням з профспілковою організацією для водіїв міського електротранспорту може бути встановлений розривний графік роботи з поділом робочої зміни на дві частини, при цьому тривалість розриву між такими частинами робочої зміни не може бути меншою ніж 2 години без урахування часу водія на прийняття їжі та відпочинок.

Після керування транспортним засобом протягом 4 годин водію повинна бути надана перерва для прийняття їжі та відпочинку тривалістю не менш ніж 45 хвилин (якщо безпосередньо після цього не настає період щоденного відпочинку). Ця перерва може бути поділена на частини, кожна з яких повинна мати тривалість не менше 15 хвилин. Вимога щодо надання перерви може не застосовуватись у разі встановлення тривалості робочої зміни водія у 5 годин.

Тривалість щоденного відпочинку водіїв тролейбуса і трамвая протягом послідовних 24 годин часу повинна складати не менше ніж 10 послідовних годин.

Тривалість зміни водія з урахуванням тривалості підготовчо-заклучних операцій повинна бути у межах від 3,5 годин до 10,0 годин. Тривалість стоянки трамвая та тролейбуса на кінцевих станціях маршрутів повинна бути не меншою ніж 2 хвилини, при цьому допускається скорочення такої стоянки до 1 хвилини у разі інтервалу руху на маршруті протягом певного періоду часу доби менше ніж 2 хвилини. Облік робочого часу водіїв тролейбусів і трамваїв здійснюється через ведення шляхових листів та проставлення у них відповідних відміток на кінцевих станціях маршрутів.

СОУ 60.2 – 33886519 – 0002:2006 стосовно якості надання послуг пасажирського електричного транспорту встановлює обов'язкові та рекомендовані показники якості.

До обов'язкових показників якості відноситься відповідність технічного стану рухомого складу, рейкових колій, контактної мережі, безпеки перевезень та інформаційного забезпечення пасажирів та доступність для усіх пасажирів прийнятого способу оплати проїзду діючим державним та галузевим стандартам та нормативам, встановленим законодавством України.

До рекомендованих показників якості відносяться:

- рівень наповнення салону рухомого складу пасажирами, що не повинна перевищувати 4 осіб на 1 м² вільної площі підлоги пасажирського салону при усіх зайнятих місцях для сидіння;

- регулярність транспортного сполучення на маршруті, яка визначається відношенням фактично виконаної на маршруті кількості рейсів до кількості рейсів на маршруті, запланованої згідно розкладу руху;

- точність дотримання розкладу руху на маршрутах, яка визначається відношенням кількості рейсів, виконаних згідно розкладу, до загальної кількості рейсів, запланованих розкладом руху на маршруті;

- точність дотримання розкладу, яка визначається максимально допустимим відхиленням від розкладу руху (запізнення не більше ніж на 2 хвилини, раннє прибуття не більше ніж на 1 хвилину);

- допустимий недовипуск рухомого складу на маршрут у абсолютних одиницях;

- кількість випадків затримок у русі на маршруті з вини транспортного оператора (встановлюється окремо для кожного транспортного оператора);

- допустима кількість затримок у русі електротранспорту з вини служби експлуатації транспортного підприємства, служби енергозабезпечення та служби колійного господарства (для трамваю);

- допустима кількість сходів транспортних засобів з маршруту;

- допустима кількість тимчасових сходів транспортних засобів з маршруту.

1.4 Аналіз динаміки змінювання обсягів перевезень пасажирів на міському електричному транспорті міста Запоріжжя

На міському електричному транспорті в Україні ведеться поквартальний статистичний облік [3]. Статистичні дані про обсяги перевезень пасажирів міським електричним транспортом міста Запоріжжя за 1995–2020 роки за даними Головного управління статистики в Запорізькій області (<https://www.zp.ukrstat.gov.ua/>) наведені на рис. 1.13 та у табл. 1.5. Дані подані у розрізі Запорізької області, однак міський пасажирський електротранспорт в Запорізькій області функціонує лише у обласному центрі, відповідно усі дані щодо обсягів перевезень пасажирів відносяться до комунального підприємства «Запоріжелектротранс».

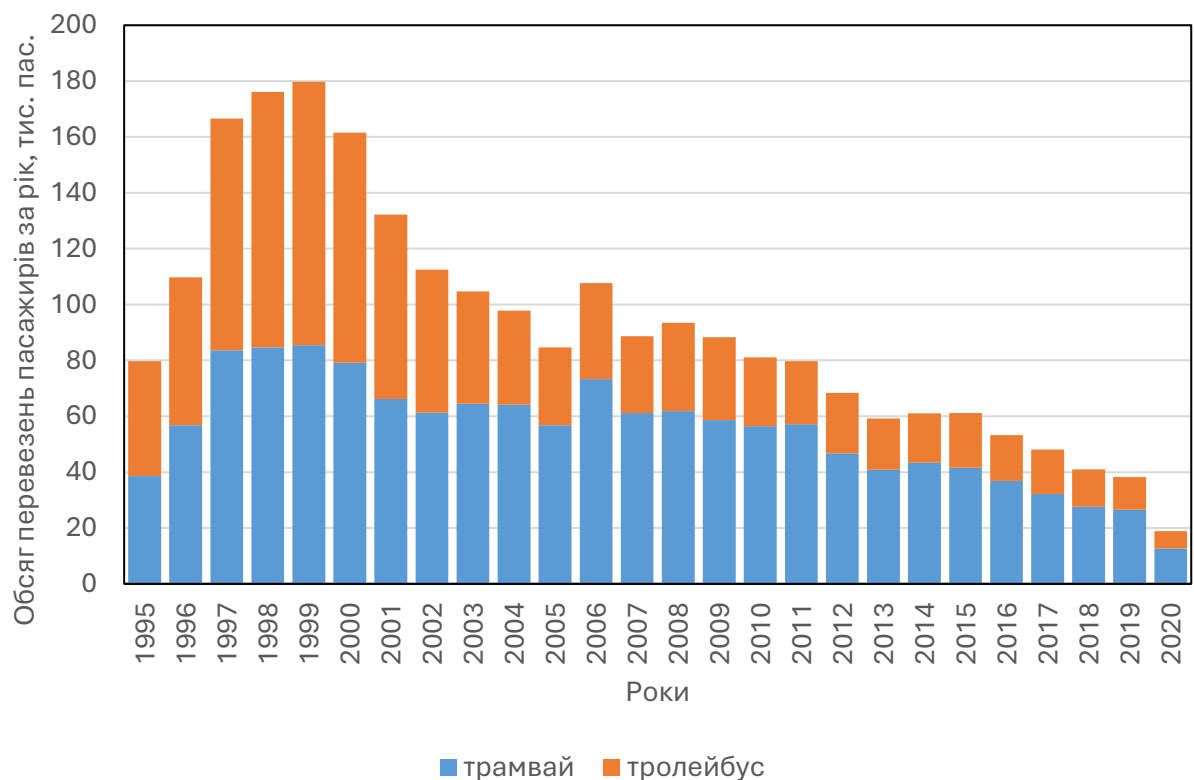


Рисунок 1.13 — Статистичні дані про обсяги перевезень пасажирів міським електротранспортом Запоріжжя за 1995–2020 роки

Таблиця 1.5 — Обсяги пасажирських перевезень міським пасажирським електротранспортом у місті Запоріжжя за 1995–2020 роки

Рік	Річний обсяг перевезень пасажирів, тис. пас.		
	трамвай	тролейбус	разом
1995	38568,6	41159,2	79727,8
1996	56796,2	52909,3	109705,5
1997	83648,7	82933,0	166581,7
1998	84659,4	91391,2	176050,6
1999	85425,2	94285,4	179710,6
2000	79096,4	82485,5	161581,9
2001	66201,2	66014,0	132215,2
2002	61301,2	51183,4	112484,6
2003	64465,0	40179,0	104644,0
2004	64111,9	33751,1	97863,0
2005	56771,2	27817,0	84588,2
2006	73253,4	34426,8	107680,2
2007	61149,0	27508,2	88657,2
2008	61844,1	31644,1	93488,2
2009	58635,6	29661,6	88297,2
2010	56456,8	24657,2	81114,0
2011	57124,2	22596,5	79720,7
2012	46761,3	21553,3	68314,6
2013	40861,0	18294,7	59155,7
2014	43440,2	17648,4	61088,6
2015	41571,5	19633,8	61205,3
2016	36836,5	16355,2	53191,7
2017	32150,1	15915,5	48065,6
2018	27588,8	13374,4	40963,2
2019	26500,2	11674,7	38174,9
2020	12727,0	6119,1	18846,1

Аналіз статистичних даних про обсяги перевезень пасажирів пасажирським електротранспортом свідчить, що у період з 1995 по 1999 рік обсяги перевезень зростали. Це можна пояснити тим, що саме на цей період часу прийшлися процеси різкого скорочення випуску рухомого складу на автобусні маршрути міста. Автобуси великої місткості поступово виходили з ладу через їх поважний вік, а автотранспортні підприємства були у глибокій кризі, не мали достатніх коштів на оновлення рухомого складу. Таким чином у той період часу саме міський електричний транспорт взяв на себе основний тягар з забезпечення перевезень мешканців міста Запоріжжя. З урахуванням того, що у 1999 році у місті Запоріжжя проживало близько 850 тис. мешканців, фактична транспортна рухливість мешканців міста Запоріжжя на міському пасажирському електричному транспорті склала близько 210 поїздок на одного мешканця на рік.

Зовсім іншим був період часу з 1999 року по теперішній час, протягом якого обсяги перевезень пасажирів міським електротранспортом у Запоріжжі поступово зменшувались. Починаючи з 2000 року у місті почали масово з'являтися автобуси малої пасажиромісткості (мікроавтобуси) та приватні автомобільні перевізники. На початку 2000-х років вони вирішили проблему забезпечення пасажирських перевезень у місті, прийшовши на допомогу міському електричному транспорту. Останній відчував великі складнощі через низку причин, до яких, зокрема, можна віднести старіння та вихід з ладу рухомого складу без фінансових можливостей їх оновлення та надання законодавством України права на безплатних проїзд у міському електротранспорті пенсіонерам за віком. Субвенції та дотації підприємствам міського електричного транспорту у ті роки виплачувались нерегулярно і не у повному обсязі. Таким чином, левову частку пасажирів у міському тролейбусі і трамваї складали особи пенсійного віку. Наслідками такого становища з фінансуванням міського електротранспорту стало скорочення експлуатаційної довжини тролейбусних ліній та трамвайних колій, випуску рухомого складу на маршрути та збільшення інтервалів руху на маршрутах.

Така ситуація пришвидшила відтік платних пасажирів від міського електричного транспорту та збільшила його кризу.

У 2016 році міська влада міста Запоріжжя звернула увагу на занепад міського комунального транспорту. Завдяки її діям протягом 2016–2021 років фінансування міського комунального транспорту суттєво збільшилось, відбулась закупівля за кошти міського бюджету автобусів великої місткості, вживаних тролейбусів і трамвайних вагонів, налагоджено власне виробництво трамвайних вагонів за програмою «Запорізький трамвай». Втім, міська влада встановила пріоритетом розвитку саме автобусний транспорт великої місткості, для чого було закуплено більше 100 автобусів. Тролейбусний і трамвайний парк міста вдалося лише частково оновити.

Ускладнила ситуацію з пасажирськими перевезеннями у місті також світова пандемія коронавірусу Ковід-19, яка в Україні розпочалася на початку березня 2020 року. С початком пандемії міською владою були введені жорсткі обмеження щодо максимального наповнення рухомого складу пасажирями (здебільшого у кількості, що не перевищувала кількість місць для сидіння) та доступу до послуг громадського транспорту окремих категорій громадян (дозволявся проїзд, зокрема, за довідками, виданими підприємствами критичної інфраструктури). Як наслідок, у 2020 році був зафіксований своєрідний антирекорд щодо обсягів перевезень пасажирів міським електротранспортом у Запоріжжі, який склав 18 846 100 пасажирів на рік. Незважаючи на природне скорочення чисельності населення міста до 732 тис. мешканців, транспортна рухливість населення на міському електротранспорті за 2020 рік склала 25,7 поїздок на одного мешканця на рік, що майже у 8 разів менше ніж аналогічний показник 1999 року.

Крім даних офіційної статистики, у 2017 році у місті було проведено комплексне обстеження пасажиропотоків (вперше з 1991 року). За результатами цього обстеження було встановлено, що річні обсяги перевезень пасажирів на міському тролейбусі міста Запоріжжя за рік складають 24 914 тис. пасажирів (за даними офіційної статистики 15 916 тис. пасажирів), на

трамвайному транспорті міста Запоріжжя за рік обсяг перевезень пасажирів склав 31 966 пасажирів (за даними офіційної статистики 32 150 тис. пасажирів). Всього за даними обстеження встановлено, що річний обсяг перевезень пасажирів розподіляється між видами міського транспорту таким чином: 75 % пасажирів перевозяться автобусами, в тому числі комунальними, 11 % пасажирів перевозяться тролейбусами та 14 % пасажирів перевозяться трамваями.

Якщо враховувати лише міський електротранспорт, то за даними комплексного обстеження пасажиропотоків встановлено, що тролейбусним транспортом перевозиться 43,8 % пасажирів, інші 56,2 % пасажирів перевозяться трамвайним транспортом.

1.5 Постановка задач дослідження

В результаті проведеного аналізу існуючого стану розвитку міського електричного пасажирського транспорту у місті Запоріжжя та динаміки обсягів перевезень пасажирів тролейбусним і трамвайним транспортом у місті за період з 1995 по 2020 роки можна зробити такі висновки:

- міський електричний транспорт у місті Запоріжжя має розгалужену маршрутну мережу та станом на листопад 2024 року налічує 5 тролейбусних та 6 трамвайних маршрутів. Останніми десятиліттями експлуатаційна довжина трамвайних колій та тролейбусних ліній у місті Запоріжжя поступово зменшується;

- рухомий склад міського тролейбуса і трамвая є різномарочним та виробленим як вітчизняними так і закордонними виробниками;

- за офіційними даними Головного управління статистики в Запорізькій області та результатами комплексного обстеження пасажиропотоків у місті, проведеного у 2017 році встановлено, що на міський електричний транспорт

припадає близько 25 % річного обсягу перевезень пасажирів (11 % на тролейбусний та 14 % на трамвайний транспорт). Річний обсяг перевезень пасажирів на міському електротранспорті розподілений між видами транспорту таким чином: 43,8 % пасажирів перевозиться тролейбусним транспортом та 56,2 % пасажирів перевозиться трамвайним транспортом.

У даній магістерській роботі передбачається вирішити такі задачі дослідження:

- розробити модель прогнозування обсягів пасажирських перевезень на міському електричному пасажирському транспорті міста Запоріжжя з використанням методів математичної статистики;

- встановити обсяги перевезень пасажирів на міському електричному пасажирському транспорті у 2024 році та фактичний розподіл обсягів перевезень між тролейбусним і трамвайним видами транспорту у місті Запоріжжя;

- за укрупненими показниками визначити собівартість перевезень пасажирів та вартість проїзду на міському електричному пасажирському транспорті у місті Запоріжжя.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Суть та математичні підходи до прогнозування показників функціонування транспортних систем

Аналітичні розрахунки прогнозів виконуються при дослідженні та плануванні розвитку транспортних систем, плануванні технічного і технологічного розвитку транспортних підприємств, розробці комплексу заходів щодо удосконалення транспортних процесів і систем. Для прогнозування змінювання результативних показників діяльності транспортних систем, до яких відноситься міська пасажирська транспортна система, використовують методи математичної статистики. Такі методи дозволяють виконати прогнозування певних показників, таких як обсяг перевезень пасажирів, транспортну рухливість населення тощо, у майбутньому, спираючись на дослідження тенденцій змінювання цих показників у минулому [4].

Прогнозом називається науково обґрунтований висновок щодо значення досліджуваного показника у майбутньому на основі аналізу та екстраполяції значень цього показника за попередній прогнозному періоду періоди часу. Методи прогнозування, побудовані на теорії математичної статистики, зазвичай передбачають розробку математичної або статистичної моделі досліджуваного показника та також способу пошуку та знаходження її наперед невідомих параметрів. На відміну від класичних методів кореляційно-регресійного аналізу, у задачах дослідження часових рядів незалежною змінною виступає час. Тому дуже важливим для отримання якісних прогнозів є належне складення, попередня обробка та аналіз динамічних рядів, які відбивають змінювання досліджуваного показника за минулі періоди часу.

В основу побудови моделей прогнозування, заснованих на методах математичної статистики, покладений принцип екстраполяції — встановлення прогнозного значення досліджуваного показника у майбутні періоди часу $t + \tau$

на підставі статистичної обробки даних про значення цього показника у минулі періоди часу шляхом їх згладжування та аналізу.

Процес розробки прогнозів, побудований на імовірісно-статистичних методах, включає два етапи.

Етап 1. Полягає у узагальненні значень про змінювання досліджуваного показника протягом достатньо довгого тривалого періоду у минулому і представленні результатів у вигляді аналітичної моделі, яка виражає тренд розвитку показника чи рівняння залежності значень показника від одного або декількох незалежних факторів, які у таких моделях є аргументами аналітичної залежності.

Етап 2. Фактичне знаходження прогнозного значення досліджуваного показника на підставі виявлених під час проведення першого етапу закономірностей. На цьому ж етапі здійснюється вибір кращої моделі у разі наявності альтернатив та оцінка точності прогнозу.

Динамічні ряди, які відбивають змінювання будь-якого показника, містять у собі композицію декількох компонент, що підлягають виділенню та аналізу:

- тенденція (або тренд) — найбільш довгострокова компонента, що відбиває тенденцію змінювання показника до монотонного (в середньому) зростання або спадання;

- довгострокові циклічні коливання — компонента, що виражає коливання досліджуваного показника в довгостроковій ретроспективі;

- сезонні коливання — компонента, що відбиває змінювання досліджуваного показника по сезонах року (літо-зима, весна-осінь, тощо);

- короткострокові коливання (місячні, тижневі, добові, годинні);

- випадкові коливання — компонента, що відбиває вплив на досліджуваний показник випадкових збурювань та інших зовнішніх факторів, що не підлягають або важко підлягають передбаченню.

Для прогнозування у магістерській роботі виберемо показник транспортної рухливості населення на міському електричному транспорті у місті Запоріжжя, який є відношенням кількості поїздок на певному виді

транспорту за рік R до чисельності населення міста у цей рік A і розраховується за формулою

$$R = \frac{A}{N}. \quad (2.1)$$

Цей комплексний досліджуваний показник, у свою чергу, містить у собі дві випадкові складові:

– кількість поїздок на рік на певному виді міського транспорту залежить від рівня автомобілізації населення, який, за даними світової статистики, має тенденцію до зростання, а також від рівня організації перевезень кожного з видів міського транспорту;

– чисельність населення міста Запоріжжя зумовлена багатьма соціальними та демографічними факторами і останні роки має тенденцію до спадання.

2.2 Статистичний аналіз динамічних рядів транспортної рухливості населення на міському електротранспорті міста Запоріжжя

У табл. 2.1 наведені дані щодо чисельності населення у місті Запоріжжя за 1995–2020 роки (за даними головного управління статистики України в Запорізькій області <https://www.zp.ukrstat.gov.ua/>) та транспортної рухливості населення міста по роках цього періоду, визначені на підставі статистичних даних про обсяги перевезень пасажирів у місті Запоріжжя (табл. 1.5). На підставі даних табл. 2.1 будуємо графіки, що представляють собою динаміку змінювання транспортної рухливості у місті Запоріжжя за період 1995–2020 роки (рис. 2.1).

З зовнішнього вигляду графіків можна зробити висновок, що досліджувані динамічні ряди не є стаціонарними та містять у собі трендову складову.

Таблиця 2.1 — Кількість населення та транспортна рухливість населення на міському електричному транспорті Запоріжжя за 1995–2020 роки

Рік	Чисельність населення, тис. чол.	Річний обсяг перевезень пасажирів, тис. пас.		
		трамвай	тролейбус	разом
1995	842714	45,8	48,8	94,6
1996	837362	67,8	63,2	131,0
1997	830852	100,7	99,8	200,5
1998	823556	102,8	111,0	213,8
1999	815977	104,7	115,5	220,2
2000	808516	97,8	102,0	199,8
2001	801291	82,6	82,4	165,0
2002	794311	77,2	64,4	141,6
2003	787730	81,8	51,0	132,8
2004	781687	82,0	43,2	125,2
2005	776279	73,1	35,8	109,0
2006	771587	94,9	44,6	139,6
2007	767597	79,7	35,8	115,5
2008	764159	80,9	41,4	122,3
2009	761051	77,0	39,0	116,0
2010	758090	74,5	32,5	107,0
2011	755238	75,6	29,9	105,6
2012	752490	62,1	28,6	90,8
2013	749728	54,5	24,4	78,9
2014	746823	58,2	23,6	81,8
2015	743679	55,9	26,4	82,3
2016	740237	49,8	22,1	71,9
2017	736496	43,7	21,6	65,3
2018	732497	37,7	18,3	55,9
2019	728316	36,4	16,0	52,4
2020	724014	17,6	8,5	26,0

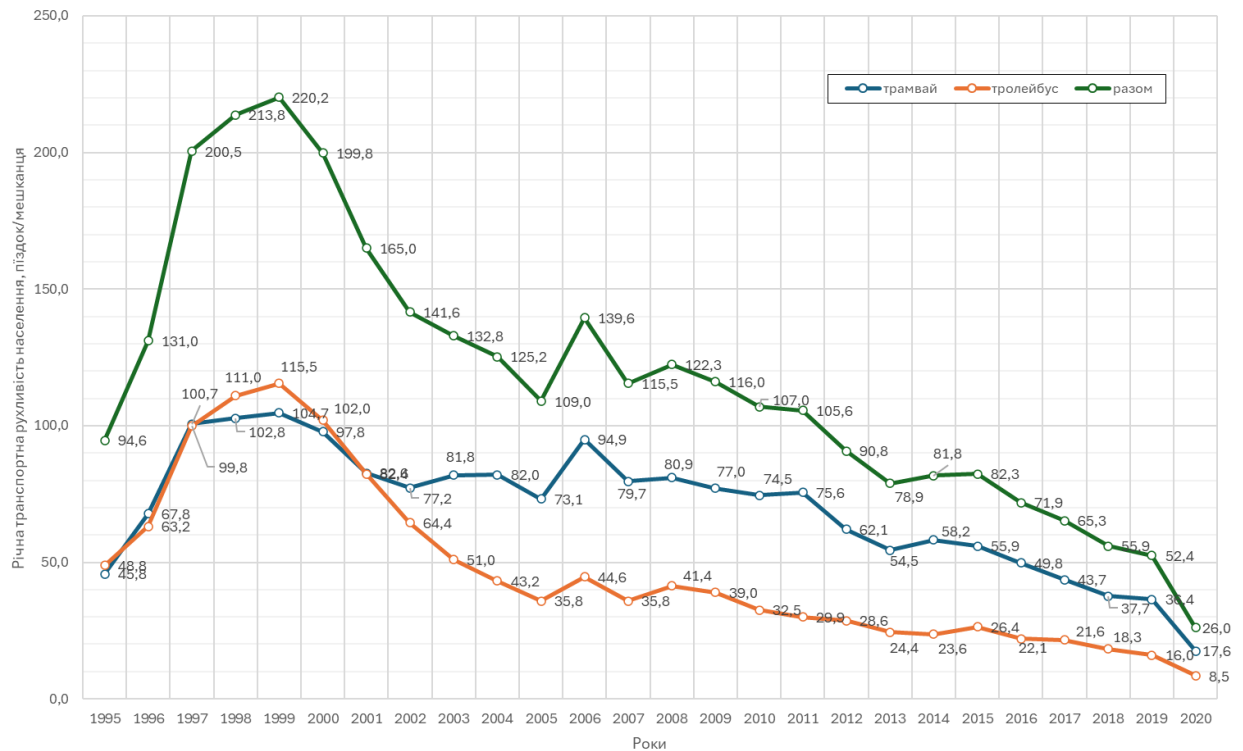


Рисунок 2.1 — Динамічні ряди змінювання транспортної рухливості населення міста Запоріжжя на міському електричному транспорті

Розрахуємо основні статистичні показники рівнів динамічних рядів. Для цього позначимо як m_t , b_t та a_t — значення транспортної рухливості населення міста (рівні динамічного ряду) у t -й рік відповідно, на трамвайному, тролейбусному транспорті та разом на міському електричному транспорті. До основних статистичних показників динамічних рядів відносяться: математичне очікування M , дисперсія D , стандартне відхилення σ та коефіцієнт варіації v досліджуваного показника, які розраховуються за формулами [5]:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t ; \quad (2.2)$$

$$D = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - M)^2}{n - 1} ; \quad (2.3)$$

$$\sigma = \sqrt{D} ; \quad (2.4)$$

$$v = \frac{\sigma}{M}, \quad (2.5)$$

де x_t — значення рівня досліджуваного показника у період часу t ;

n — кількість рівнів досліджуваного показника у ретроспективному періоді часу, $n = 26$.

Результати розрахунку основних статистичних показників досліджуваних динамічних рядів наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 — Основні статистичні показники динамічних рядів

Показник	Значення статистичних показників для динамічного ряду			
	M	D	σ	v
m_t	69,8	507,8	22,53	0,32
b_t	47,3	946,6	30,77	0,65
a_t	117,1	2563,7	50,63	0,43

Значення коефіцієнта варіації $v > 0,2$ для усіх досліджуваних показників підтверджують очевидний факт їх нестациональності та суттєвої коливності протягом розглядуваного періоду.

Аналіз зовнішнього вигляду графіків рядів динаміки дозволяє виділити на них чітко виражені чотири часових проміжки:

а) з 1995 по 1999 рік — зростання транспортної рухливості населення на міському пасажирському електротранспорті через достатній рівень попиту і пропозиції на послуги міського пасажирського транспорту, невисокий рівень автомобілізації, відсутність приватних перевізників на ринку міських пасажирських перевезень;

б) з 1999 по 2005 рік — різке спадання транспортної рухливості населення на міському пасажирському електротранспорті через інтенсивний вихід на ринок міських пасажирських перевезень приватних перевізників, масове відкриття нових автобусних маршрутів, що дублювали траси маршрутів

електротранспорту, погіршення технічного стану рухомого складу пасажирського електротранспорту та скорочення обсягів транспортної пропозиції з боку комунального підприємства «Запоріжелектротранс»;

в) з 2005 по 2019 рік — поступове стає трендове зниження транспортної рухливості населення на міському електротранспорті через поступовий програш ним ринку пасажироперевезень внаслідок менших, ніж у автобусного транспорту, швидкостей сполучення, великих інтервалів руху, користуванням електротранспортом переважно пільгових категорій пасажирів, в основному пенсіонерів за віком;

г) 2020 рік — точкове аномальне значення, кардинальне зменшення транспортної рухливості у якому зумовлене карантинними обмеженнями щодо користування громадським транспортом у місті Запоріжжя з боку органів місцевої влади через світову пандемію коронавірусу Covid-19.

Для розробки перспективних прогнозів враховуємо те, що чим ближчі до горизонту прогнозування ретроспективні дані, тим більший внесок вони мають у прогнозне значення результативного показника. З огляду на це, виберемо для прогнозування періоди динамічних рядів, що знаходяться у проміжку з 2002 по 2019 рік (2020 рік відкидаємо через аномальні значення транспортної рухливості населення). Перенумеруємо номери рівнів рядів динаміки, приписавши 2002 року номер 1, 2003 року номер 2 і так далі. Всього досліджувані ряди динаміки мають по $T = 18$ рівнів. Графіки рядів динаміки, вибраних для розробки прогнозу, наведені на рис. 2.2.

З урахуванням вищесказаного, використаємо для прогнозування один із методів розробки середньострокових прогнозів — метод експоненціального згладжування, який полягає в тому, що досліджуваний динамічний ряд згладжується за допомогою зваженої ковзної середньої, при цьому більша вага надається ковзним середнім, які розраховані на підставі останніх членів ряду динаміки у ретроспективі. При цьому вагові коефіцієнти ковзної середньої з плином часу ретроспективи, змінюються за експоненціальним законом.

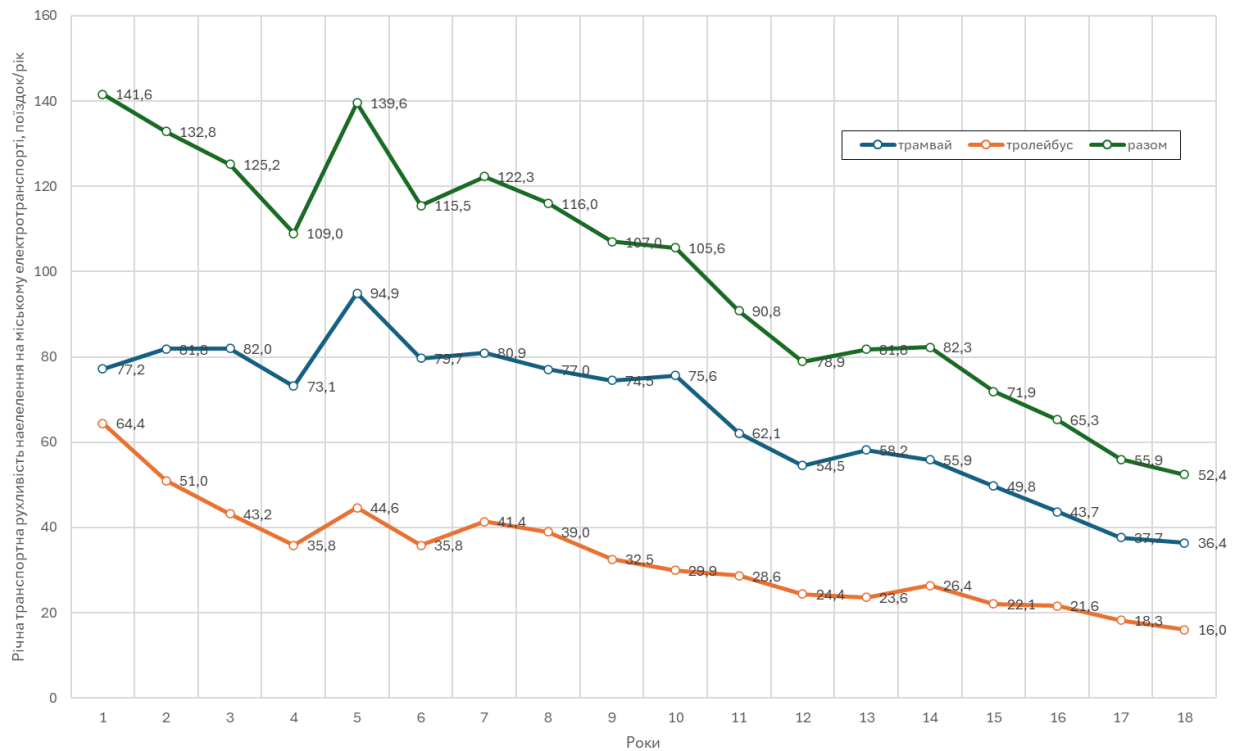


Рисунок 2.2 — Динамічні ряди для прогнозування транспортної рухливості

2.3 Розробка прогнозних значень транспортної рухливості населення за методом експоненціального згладжування

2.3.1 Суть методу експоненціального згладжування

Нехай маємо динамічний ряд деякого досліджуваного показника y_t ($t = 1, 2, \dots, T$). Нехай далі тренд цього ряду динаміки у загальному випадку описується поліномом степені p

$$y_t = a_0 + a_1 \cdot t + \frac{a_2}{2!} \cdot t^2 + \dots + \frac{a_p}{p!} \cdot t^p. \quad (2.6)$$

При прогнозуванні необхідно визначити прогнозне значення досліджуваного показника на деякий момент часу $t_T + \tau$.

За допомогою розкладення тренду часового ряду до степеневого ряду Тейлора

$$\tilde{y}_{t+\tau} = y_t^{(0)} + \tau \cdot y_t^{(1)} + \frac{\tau^2}{2!} \cdot y_t^{(2)} + \dots + \frac{\tau^k}{k!} \cdot y_t^{(k)} + \frac{\tau^p}{p!} \cdot y_t^{(p)}, \quad (2.7)$$

де $y_t^{(k)}$ — похідна k -го порядку, взята від функції тренду у момент часу t , яка може бути вираженою через деяку лінійну комбінацію експоненціальних середніх включно до порядку $p + 1$.

Експоненціальна функція згладжування, що відповідає похідній k -го порядку, може бути розрахована за такою рекурентною формулою

$$S_t^{[k]} = \alpha \cdot S_t^{[k-1]} + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}^{[k]}, \quad (2.8)$$

де α — заданий дослідником параметр експоненціального згладжування, який визначає відносну вагу значення поточного рівня ряду при розрахунку згладженої експоненціальної середньої ($0 < \alpha < 1$);

$S_t^{[k-1]}$, $S_{t-1}^{[k]}$ — зважені експоненціальні середні ряду порядку $(k - 1)$ та k відповідно.

За умови відсутності конкретних вказівок або міркувань щодо вибору параметру згладжування, його можна прийняти рівним

$$\alpha = \frac{2}{T + 1}. \quad (2.9)$$

Для випадку застосування лінійної функції тренду (прогнозу), яка виражається функцією часу $y_t = a_0 + a_1 \cdot t$, прогнозна модель буде містити у собі експоненціальні середні перших двох порядків — $S_t^{[1]}$ та $S_t^{[2]}$. Шукані коефіцієнти лінійної трендової моделі можна обчислити, розв'язавши систему лінійних рівнянь

$$\begin{cases} S_t^{[1]} = a_0 + \frac{\alpha}{\beta} \cdot a_1; \\ S_t^{[2]} = a_0 + \frac{2 \cdot \beta}{\alpha} \cdot a_1, \end{cases} \quad (2.10)$$

де $\beta = 1 - \alpha$.

Розв'язком цієї системи лінійних рівнянь є вирази для знаходження невідомих коефіцієнтів лінійної моделі

$$\begin{cases} a_0 = 2 \cdot S_t^{[1]} - S_t^{[2]}; \\ a_1 = \frac{\alpha}{\beta} [S_t^{[1]} - S_t^{[2]}]. \end{cases} \quad (2.11)$$

Виходячи з наведено вище, порядок розрахунків коефіцієнтів лінійної моделі лінійної функції експоненціального згладжування є таким.

1. Для першого ($t = 1$) рівня ряду динаміки приймають $S_1^{[1]} = S_1^{[2]} = y_1$.
2. Для другого ($t = 2$) рівня ряду динаміки експоненціальні середні обчислюються за формулами

$$\begin{cases} S_2^{[1]} = \alpha \cdot y_2 + \beta \cdot S_1^{[1]}; \\ S_2^{[2]} = \alpha \cdot S_2^{[1]} + \beta \cdot S_1^{[2]}. \end{cases} \quad (2.12)$$

3. Коефіцієнти лінійної функції згладжування для другого рівня ряду динаміки розраховуються за формулами

$$\begin{cases} a_0^{(2)} = 2 \cdot S_2^{[1]} - S_2^{[2]}; \\ a_1^{(2)} = \frac{\alpha}{\beta} [S_2^{[1]} - S_2^{[2]}]. \end{cases} \quad (2.13)$$

4. Далі аналогічним чином обчислюють значення зважених експоненціальних середніх $S_3^{[1]}$ та $S_3^{[2]}$, на підставі значень яких обчислюють коефіцієнти лінійної прогнозуї функції $a_0^{(3)}$ та $a_1^{(3)}$ аж до останнього рівня ряду динаміки, коли будуть отримані значення $a_0^{(T)}$ та $a_1^{(T)}$. Ці коефіцієнти використовують для розрахунку прогнозного значення показника за прогнозуї функцією

$$\tilde{y}_{T+\tau} = a_0^{(T)} + a_1^{(T)} \cdot \tau, \quad (2.14)$$

де τ — період упередження прогнозу, тобто період, на який розраховується прогнозне значення.

5. Для розрахунку прогнозного значення досліджуваного показника на один крок вперед приймають припущення, що майбутній рівень ряду динаміки дорівнює екстрапольованому значенню прогнозуї функції попереднього рівня ряду динаміки $y_{t+1} = \tilde{y}_t$.

6. Стандартна похибка лінії тренду розраховується за формулою

$$\sigma_{\tilde{y}} = \sigma_y \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{(2-\alpha)^3} \cdot [1 + 4 \cdot \beta + 5 \cdot \beta^2 + 2 \cdot \alpha \cdot (4 - 3 \cdot \alpha) \cdot \tau + 2 \cdot \alpha^2 \cdot \tau^2]}, \quad (2.15)$$

$$\text{де } \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y})^2}{T - 1}}.$$

2.3.2 Прогнозування транспортної рухливості населення на трамвайному транспорті міста Запоріжжя

Згідно порядку розрахунку прогнозу за методом експоненціального згладжування, описаного вище, виконуємо розрахунки для динамічного ряду

транспортної рухливості населення міста Запоріжжя на трамвайному транспорті за період з 2002 року по 2019 рік.

1. Розраховуємо параметр згладжування α та коефіцієнт згладжування β

$$\alpha = \frac{2}{T+1} = \frac{2}{18+1} = 0,105;$$

$$\beta = 1 - \alpha = 1 - 0,105 = 0,895.$$

2. Для першого рівня динамічного ряду приймаємо значення параметрів згладжування першого і другого порядку такими, що дорівнюють фактичному значенню рівня ряду, тобто

$$S_1^{[1]} = S_1^{[2]} = y_1 = 77,2 .$$

3. Для другого рівня динамічного ряду розраховуємо експоненціальні середні за формулами (2.12):

$$S_2^{[1]} = \alpha \cdot y_2 + \beta \cdot S_1^{[1]} = 0,105 \cdot 81,8 + 0,895 \cdot 77,2 = 77,68 ;$$

$$S_2^{[2]} = \alpha \cdot S_2^{[1]} + \beta \cdot S_1^{[2]} = 0,105 \cdot 77,68 + 0,895 \cdot 77,2 = 77,25 .$$

4. Розраховуємо коефіцієнти лінійної прогновної функції для другого рівня динамічного ряду за формулами (2.13):

$$a_0^{(2)} = 2 \cdot S_2^{[1]} - S_2^{[2]} = 2 \cdot 77,68 - 77,25 = 78,11 ;$$

$$a_1^{(2)} = \frac{\alpha}{\beta} [S_2^{[1]} - S_2^{[2]}] = \frac{0,105}{0,895} (77,68 - 77,25) = 0,0504.$$

5. Розраховуємо прогнозне значення для другого рівня динамічного ряду, приймаючи період упередження $\tau = 1$

$$\tilde{y}_2 = 78,11 + 0,0504 \cdot 1 = 78,16.$$

6. Аналогічним чином розраховуємо прогнозних значень усіх рівнів динамічного ряду транспортної рухливості населення міста Запоріжжя на трамвайному транспорті. Результати розрахунку зводимо до табл. 2.3.

Таблиця 2.3 — Експоненціальне згладжування динамічного ряду транспортної рухливості (трамвай)

t	y_t	$S_t^{[1]}$	$S_t^{[2]}$	$a_0^{(t)}$	$a_1^{(t)}$	$\tilde{y}_t$	$y_t - \tilde{y}_t$	$(y_t - \tilde{y}_t)^2$	$y_t - \bar{y}$	$(y_t - \bar{y})^2$
Ретроспектива										
1	77,2	77,18	77,18	—	—	77,18	0,00	0,00	10,8	116,3
2	81,8	77,67	77,23	78,10	0,05	78,16	3,68	13,54	15,4	238,6
3	82,0	78,12	77,32	78,93	0,09	79,02	3,00	8,98	15,6	244,2
4	73,1	77,60	77,35	77,85	0,03	77,88	-4,74	22,50	6,7	45,5
5	94,9	79,42	77,57	81,28	0,22	81,50	13,44	180,67	28,5	815,0
6	79,7	79,45	77,77	81,13	0,20	81,33	-1,67	2,78	13,3	176,2
7	80,9	79,60	77,96	81,25	0,19	81,44	-0,51	0,26	14,5	211,4
8	77,0	79,34	78,10	80,57	0,14	80,71	-3,67	13,44	10,7	113,5
9	74,5	78,82	78,18	79,47	0,08	79,54	-5,07	25,70	8,1	65,3
10	75,6	78,49	78,21	78,76	0,03	78,80	-3,16	9,98	9,2	85,5
11	62,1	76,77	78,06	75,47	-0,15	75,32	-13,18	173,72	-4,2	18,0
12	54,5	74,42	77,68	71,17	-0,38	70,79	-16,29	265,22	-11,9	141,4
13	58,2	72,71	77,16	68,27	-0,52	67,75	-9,58	91,78	-8,2	67,6
14	55,9	70,94	76,50	65,38	-0,65	64,73	-8,83	77,98	-10,5	110,0
15	49,8	68,71	75,68	61,75	-0,82	60,93	-11,16	124,59	-16,6	276,5
16	43,7	66,08	74,67	57,48	-1,01	56,47	-12,82	164,26	-22,7	517,0
17	37,7	63,08	73,45	52,72	-1,22	51,50	-13,83	191,41	-28,7	825,2
18	36,4	60,27	72,06	48,48	-1,39	47,10	-10,71	114,75	-30,0	900,3
								1481,54	4967,5	

Кінець таблиці 2.3.

t	y_t	$S_t^{[1]}$	$S_t^{[2]}$	$a_0^{(t)}$	$a_1^{(t)}$	$\tilde{y}_t$	$y_t - \tilde{y}_t$	$(y_t - \tilde{y}_t)^2$	$y_t - \bar{y}$	$(y_t - \bar{y})^2$
Прогноз										
+1	47,10	58,89	70,68	47,10	-1,39	45,71	—	—	—	—
+2	45,71	57,50	69,29	45,71	-1,39	44,32	—	—	—	—
+3	44,32	56,11	67,90	44,32	-1,39	42,94	—	—	—	—
+4	42,94	54,73	66,52	42,94	-1,39	41,55	—	—	—	—
+5	41,55	53,34	65,13	41,55	-1,39	40,16	—	—	—	—
+6	40,16	51,95	63,74	40,16	-1,39	38,78	—	—	—	—

Графіки фактичних, згладжених та прогнозних значень досліджуваного показника наведений на рис. 2.3.

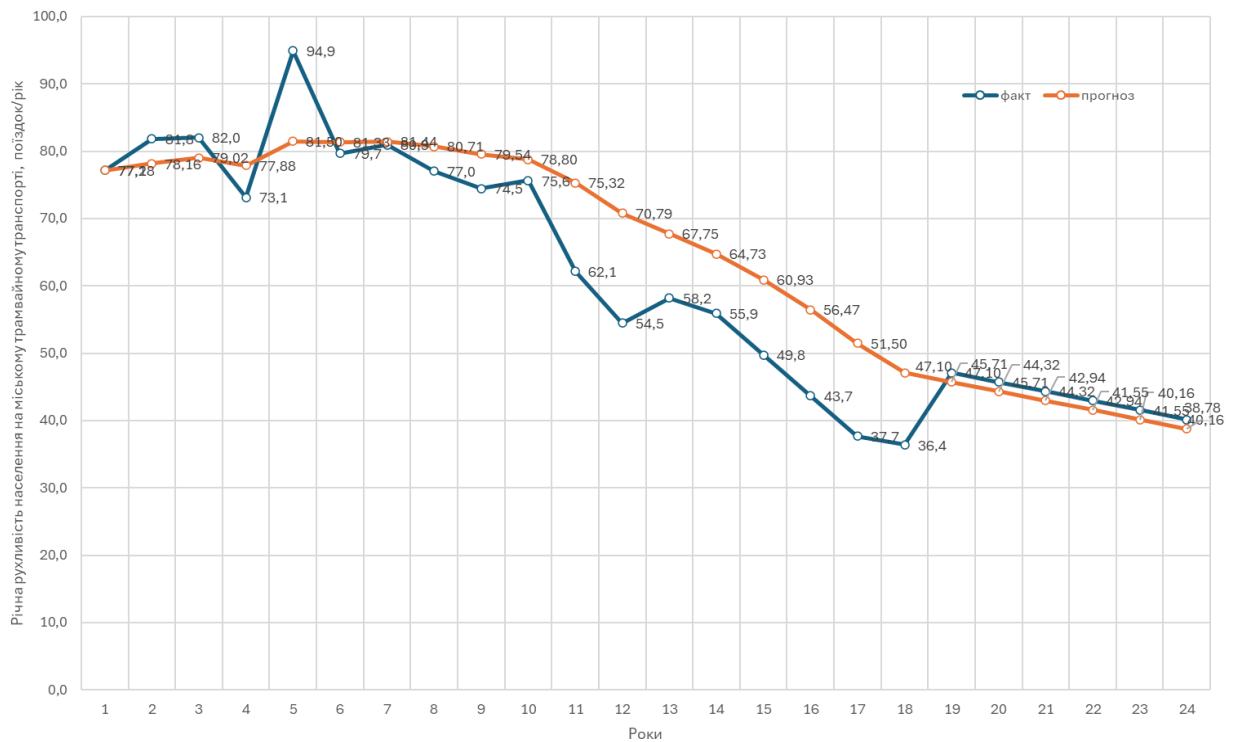


Рисунок 2.3 — Прогнозування транспортної рухливості (трамвай)

Прогнозні значення у табл. 2.3 позначені значенням періоду упередження у першому стовпчику, тобто, +1 відповідають 2020 року, +2 – 2021 року і так далі. 2024 року відповідає рядок +5 з прогнозним значенням транспортної рухливості $\tilde{y}_{+5} = 40,16$ поїздок/рік.

7. Стандартна похибка ряду динаміки, розрахована за формулою (2.15)

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{4967,5}{18-1}} = 17,09.$$

8. Похибка прогнозу для періоду упередження $\tau = 5$ (2024 рік), розрахована за формулою (2.15), дорівнює

$$\sigma_{\tilde{y}} = 17,09 \cdot \sqrt{\frac{0,105}{(2-0,105)^3} \cdot \left[1 + 4 \cdot 0,895 + 5 \cdot 0,895^2 + \right. \\ \left. + 2 \cdot 0,105 \cdot (4 - 3 \cdot 0,105) \cdot 5 + 2 \cdot 0,105^2 \cdot 5^2 \right]} = 26,39.$$

2.3.3 Прогнозування транспортної рухливості населення на тролейбусному транспорті міста Запоріжжя

Згідно порядку розрахунку прогнозу за методом експоненціального згладжування, описаного вище, виконуємо розрахунки для динамічного ряду транспортної рухливості населення міста Запоріжжя на тролейбусному транспорті за період з 2002 року по 2019 рік.

1. Розраховуємо параметр згладжування α та коефіцієнт згладжування β

$$\alpha = \frac{2}{T+1} = \frac{2}{18+1} = 0,105;$$

$$\beta = 1 - \alpha = 1 - 0,105 = 0,895.$$

2. Для першого рівня динамічного ряду приймаємо значення параметрів згладжування першого і другого порядку такими, що дорівнюють фактичному значенню рівня ряду, тобто

$$S_1^{[1]} = S_1^{[2]} = y_1 = 64,4 .$$

3. Для другого рівня динамічного ряду розраховуємо експоненціальні середні за формулами (2.12):

$$S_2^{[1]} = \alpha \cdot y_2 + \beta \cdot S_1^{[1]} = 0,105 \cdot 51,0 + 0,895 \cdot 64,4 = 63,02 ;$$

$$S_2^{[2]} = \alpha \cdot S_2^{[1]} + \beta \cdot S_1^{[2]} = 0,105 \cdot 63,02 + 0,895 \cdot 64,4 = 64,29 .$$

4. Розраховуємо коефіцієнти лінійної прогновної функції для другого рівня динамічного ряду за формулами (2.13):

$$a_0^{(2)} = 2 \cdot S_2^{[1]} - S_2^{[2]} = 2 \cdot 63,02 - 64,29 = 61,76 ;$$

$$a_1^{(2)} = \frac{\alpha}{\beta} [S_2^{[1]} - S_2^{[2]}] = \frac{0,105}{0,895} (63,02 - 64,29) = -0,15.$$

5. Розраховуємо прогнозне значення для другого рівня динамічного ряду, приймаючи період упередження $\tau = 1$

$$\tilde{y}_2 = 61,76 - 0,15 \cdot 1 = 61,61.$$

6. Аналогічним чином розраховуємо прогнозних значень усіх рівнів динамічного ряду транспортної рухливості населення міста Запоріжжя на тролейбусному транспорті. Результати розрахунку зводимо до табл. 2.4.

Графіки фактичних, згладжених та прогнозних значень досліджуваного показника наведений на рис. 2.4. У табл. 2.4 та на графіку рис. 2.4 2024 року відповідає рядок +5 з прогнозним значенням транспортної рухливості $\tilde{y}_{+5} = 9,18$ поїздок/рік.

Таблиця 2.4 — Експоненціальне згладжування динамічного ряду транспортної рухливості (тролейбус)

t	y_t	$S_t^{[1]}$	$S_t^{[2]}$	$a_0^{(t)}$	$a_1^{(t)}$	$\tilde{y}_t$	$y_t - \tilde{y}_t$	$(y_t - \tilde{y}_t)^2$	$y_t - \bar{y}$	$(y_t - \bar{y})^2$
Ретроспектива										
1	64,4	64,44	64,44	—	—	64,44	0,00	0,00	31,2	971,6
2	51,0	63,02	64,29	61,76	-0,15	61,61	-10,60	112,44	17,7	314,7
3	43,2	60,93	63,94	57,93	-0,35	57,58	-14,40	207,45	9,9	98,2
4	35,8	58,29	63,34	53,24	-0,59	52,65	-16,82	282,76	2,6	6,6
5	44,6	56,85	62,66	51,05	-0,68	50,36	-5,75	33,02	11,4	128,8
6	35,8	54,64	61,81	47,47	-0,84	46,62	-10,79	116,34	2,6	6,6
7	41,4	53,25	60,91	45,58	-0,90	44,68	-3,27	10,70	8,1	66,3
8	39,0	51,75	59,95	43,54	-0,96	42,58	-3,60	12,99	5,7	32,6
9	32,5	49,72	58,87	40,57	-1,08	39,50	-6,97	48,60	-0,7	0,6
10	29,9	47,64	57,69	37,59	-1,18	36,40	-6,48	42,05	-3,3	11,2
11	28,6	45,64	56,42	34,86	-1,27	33,59	-4,95	24,45	-4,6	21,4
12	24,4	43,40	55,05	31,76	-1,37	30,39	-5,98	35,80	-8,9	78,6
13	23,6	41,32	53,61	29,04	-1,45	27,59	-3,96	15,70	-9,6	92,8
14	26,4	39,75	52,15	27,36	-1,46	25,90	0,50	0,25	-6,9	47,1
15	22,1	37,89	50,65	25,14	-1,50	23,64	-1,54	2,38	-11,2	124,8
16	21,6	36,18	49,12	23,23	-1,52	21,71	-0,10	0,01	-11,7	135,9
17	18,3	34,29	47,56	21,02	-1,56	19,46	-1,20	1,45	-15,0	225,3
18	16,0	32,37	45,96	18,78	-1,60	17,18	-1,15	1,32	-17,2	297,1
								947,72	2660,2	
Прогноз										
+1	17,18	30,77	44,36	17,18	-1,60	15,58	—	—	—	—
+2	15,58	29,17	42,76	15,58	-1,60	13,98	—	—	—	—
+3	13,98	27,57	41,17	13,98	-1,60	12,38	—	—	—	—
+4	12,38	25,97	39,57	12,38	-1,60	10,78	—	—	—	—
+5	10,78	24,37	37,97	10,78	-1,60	9,18	—	—	—	—
+6	9,18	22,77	36,37	9,18	-1,60	7,58	—	—	—	—

7. Стандартна похибка ряду динаміки, розрахована за формулою (2.15)

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{2660,2}{18-1}} = 12,5.$$

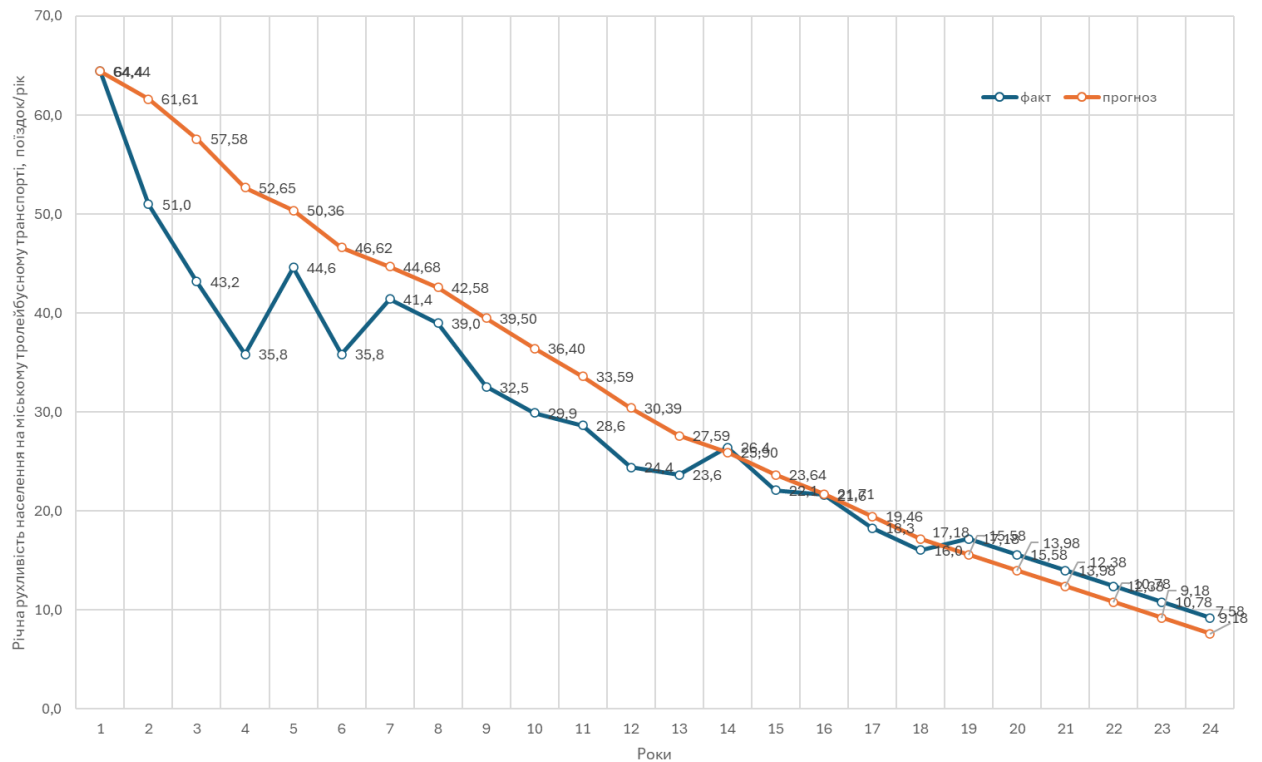


Рисунок 2.4 — Прогнозування транспортної рухливості (тролейбус)

8. Похибка прогнозу для періоду упередження $\tau = 5$ (2024 рік), розрахована за формулою (2.15), дорівнює

$$\sigma_{\bar{y}} = 12,5 \cdot \sqrt{\frac{0,105}{(2 - 0,105)^3} \cdot \left[1 + 4 \cdot 0,895 + 5 \cdot 0,895^2 + 2 \cdot 0,105 \cdot (4 - 3 \cdot 0,105) \cdot 5 + 2 \cdot 0,105^2 \cdot 5^2 \right]} = 19,31.$$

Таким чином, з урахуванням проведених розрахунків прогнозне значення транспортної рухливості населення міста Запоріжжя на міському трамвайному транспорті у 2024 році складає 40,16 поїздок на рік, а такий же прогнозний показник на троллейбусному транспорті складає 9,18 поїздок на рік. Тож, річна транспортна рухливість населення міста Запоріжжя на міському електричному транспорті складає $40,16 + 9,18 = 49,34$ поїздок на рік на одного мешканця. Розрахункова точність отриманих прогнозних значень транспортної рухливості населення дорівнює $\pm 19 \dots 26$ поїздок.

2.4 Обстеження пасажирських потоків на міському електричному транспорті у місті Запоріжжя і оцінка точності прогнозу

Для оцінки точності отриманих прогнозних значень транспортної рухливості населення на міському електричному транспорті у місті Запоріжжя використаємо результати обстеження пасажиропотоків на маршрутах міського пасажирського транспорту, проведені у 2024 році Національним університетом «Запорізька політехніка». Обстеження проводилось на усіх автобусних, тролейбусних і трамвайних маршрутах міста, які обслуговуються комунальним підприємством «Запоріжелектротранс».

Обстеження пасажиропотоків проводилось у вересні 2024 року візуальним та табличним методами обстеження пасажирських потоків протягом одного буднього дня тижня. Для оцінки обсягів перевезень пасажирів на обстежуваних маршрутів було обрано три характерних періоди часу: період ранкових годин «пік» з 06:00 до 09:00 год., період міжпікового спадання пасажиропотоків з 12:00 до 14:00, період вечірніх годин «пік» з 16:00 до 19:00. Всього обстеження проведено протягом 8 ефективних годин буднього дня. Перелік ділянок маршрутної мережі, на яких проводилось візуальне обстеження пасажиропотоків, наведений у табл. 2.5.

На кожній з ділянок обстеження пасажиропотоків візуальним методом обліковцями протягом годин обстеження фіксувалися такі показники:

- а) момент часу проходження транспортного засобу повз обліковця;
- б) номер маршруту і бортовий номер пасажирського транспортного засобу;
- в) модель рухомого складу пасажирського транспорту — тролейбус або трамвай. Конкретна модель транспортного засобу встановлювалась по базі даних бортових номерів підприємства «Запоріжелектротранс»;
- г) бальна оцінка наповнення пасажирського салону транспортного засобу пасажирами.

Таблиця 2.5 — Перелік ділянок обстеження пасажиропотоків візуальним методом

Переріз маршрутної мережі	Номери обстежуваних маршрутів	
	трамвайних	тролейбусних
Комунарський район, проспект Соборний, транспортний міст через річку Мокра Московка, зупинка трамваю та тролейбусу «Автовокзал», в прямому і зворотному напрямках	3, 16	3, 8, 14
Шевченківський район, проспект Моторобудівників, зупинка трамваю «Андріївський собор», в прямому і зворотному напрямках	10, 12, 14, 15	—
Заводський район, вулиця Північне шосе, зупинка трамваю «ПрАТ «Запоріжвогнетрив», в прямому і зворотному напрямках	16	—

Використовувалась п'ятибальна шкала оцінювання з такими значеннями балів наповнення рухомого складу пасажирями:

0 балів — салон транспортного засобу порожній;

1 бал — зайнято до $\frac{1}{2}$ місць для проїзду пасажирів сидячи, відсутні пасажирі, що їдуть стоячи;

2 бали — зайняті усі місця для проїзду сидячи, відсутні пасажирі, що їдуть стоячи;

3 бали — зайняті усі місця для проїзду сидячи та до $\frac{1}{2}$ місць для проїзду стоячи;

4 бали — зайняті усі місця для проїзду сидячи та усі місця для проїзду стоячи, але зайти у салон транспортного засобу ще можна;

5 балів — зайняті усі місця для проїзду сидячи, усі місця для проїзду стоячи, зайти у салон транспортного засобу неможливо.

З урахуванням того, що кількість місць для сидіння у пасажирському рухомому складі електротранспорту великої пасажиромісткості складає 20 % – 30 % від загальної пасажиромісткості, обліковцями допускалося використання дробових значень бальної оцінки наповнення рухомого складу пасажирями, наприклад, 3,5 бали.

Переведення отриманих під час візуального обстеження пасажиропотоків балів наповнення салону у оцінку кількості пасажирів здійснювалось за допомогою інформації про технічні характеристики транспортних засобів (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 — Переведення бальної оцінки наповнення салону рухомого складу пасажирями у фактичну кількість пасажирів у салоні

Модель рухомого складу електротранспорту	Оцінка кількості пасажирів у салоні за оцінки його наповнення у балах										
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Трамвай											
Tatra KT4D	0	8	17	25	34	52	70	85	100	120	140
Tatra T3SU	0	8	17	25	34	50	65	80	95	115	157
Tatra T3UA(КВП)	0	7	15	23	30	60	80	100	125	150	170
Tatra T6B5SU	0	10	20	30	40	61	82	103	124	145	166
Тролейбус											
Дніпро T103, 203	0	6	12	18	25	38	50	63	75	88	100
ЗІУ 682	0	7	14	21	27	40	53	66	79	92	105
Южмаш Т2	0	6	13	19	26	45	65	84	103	112	120
Skoda T14	0	6	12	18	24	32	40	48	56	68	80
ЕлектроЛАЗ	0	6	12	18	24	40	56	72	88	104	120
Van Hool AG300T	0	6	12	18	24	40	60	75	95	110	131

Тролейбусні маршрути № 9 та № 17 обстежувались табличним методом, обліковці при цьому розташовувались у салоні тролейбусів і під час зупинок реєстрували кількість пасажирів, що увійшли та вийшли з салону тролейбусу на кожній з зупинок маршруту.

У таблиці 2.7 наведені отримані по результатах обстеження розрахункові добові та річні обсяги перевезень пасажирів на маршрутах міського електротранспорту у місті Запоріжжя за день обстеження. Річні обсяги перевезень пасажирів встановлювались на підставі місячних коливань пасажиропотоків за даними Головного управління статистики у Запорізькій області за 2017-2019 роки.

Таблиця 2.7 — Розрахункові добові обсяги перевезень пасажирів на міському електротранспорті Запоріжжя

Номер маршруту	Розрахунковий обсяг перевезень пасажирів, пас.		
	добовий	місячний	річний
Трамвайні маршрути			
3	10 183	278 077	3 298 662
10	8 648	261 218	3 098 676
12	4 603	126 664	1 502 538
14	9 038	268 755	3 188 076
15	4 984	140 174	1 662 803
16	15 562	471 153	5 589 009
Разом трамвай	53 018	1 546 041	18 339 764
Тролейбусні маршрути			
3	7 805	210 009	2 536 336
8	2 949	76 681	926 094
9	1 176	31 046	374 957
14	8 854	249 424	3 012 361
17	1 070	33 063	399 312
Разом тролейбус	21 854	600 223	7 249 060
Разом	74 872	2 146 264	25 588 824

На підставі даних табл. 2.7 розрахуємо фактичну транспортну рухливість населення міста Запоріжжя на міському електричному транспорті. З початком війни в Україні встановити точну чисельність мешканців міста Запоріжжя є складним, оскільки частина мешканців переїхали до інших регіонів України і за кордон. Станом на 01.01.2022 року, до початку війни, за офіційними даними у Запоріжжі проживало 710 052 особи. Втім, станом на 2024 рік за оцінками експертів, чисельність населення зменшилась і складає менш ніж 500 000 осіб. Використаємо ці наявні значення для розрахунку транспортної рухливості населення. Річну рухливість населення розраховуємо за формулою (2.1). Результати розрахунку наведені у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 — Розрахункова фактична річна рухливість населення у місті Запоріжжя у 2024 році

Вид транспорту	Розрахункова річна транспортна рухливість населення при кількості наявного населення	
	$A = 710$ тис.	$A = 500$ тис.
Трамвай	25,8	36,7
Тролейбус	10,2	14,5
Разом	36,0	51,2

Розрахункову похибку виконаного прогнозу транспортної рухливості населення міста на міському електротранспорті визначаємо за формулою

$$\varepsilon = \frac{R_{\text{пр}} - R_{\text{ф}}}{R_{\text{ф}}} \times 100\%, \quad (2.16)$$

де $R_{\text{пр}}$ — прогнозне значення транспортної рухливості населення, поїздок/мешканця;

$R_{\text{ф}}$ — фактичне значення транспортної рухливості населення, отримане в результаті обстеження пасажиропотоку, поїздок/мешканця.

За даними прогнозних розрахунків маємо такі значення транспортної рухливості населення: на міському трамваї — 40,16 поїздок/рік, на міському тролейбусі — 9,18 поїздок/рік, на міському електротранспорті — 49,34 поїздки на рік.

Відносна похибка прогнозу складає:

– для трамвайного транспорту при кількості мешканців міста 710 тис. осіб

$$\varepsilon_T^{710} = \frac{40,16 - 25,8}{25,8} \times 100\% = 55,6\%;$$

– для трамвайного транспорту при кількості мешканців міста 500 тис. осіб

$$\varepsilon_T^{500} = \frac{40,16 - 36,7}{36,7} \times 100\% = 9,4\%;$$

– для тролейбусного транспорту при кількості мешканців міста 710 тис. осіб

$$\varepsilon_{\text{тр}}^{710} = \frac{9,18 - 10,2}{10,2} \times 100\% = 10,0\%;$$

– для тролейбусного транспорту при кількості мешканців міста 500 тис. осіб

$$\varepsilon_{\text{тр}}^{500} = \frac{9,18 - 14,5}{14,5} \times 100\% = 36,7\%;$$

– в цілому по міському електротранспорту при кількості мешканців міста 710 тис. осіб

$$\varepsilon_{\text{ет}}^{710} = \frac{49,34 - 36,0}{36,0} \times 100\% = 37,1\%;$$

– в цілому по міському електротранспорту при кількості мешканців міста 500 тис. осіб

$$\varepsilon_{\text{ет}}^{710} = \frac{49,34 - 51,2}{51,2} \times 100\% = 3,77\%.$$

Аналізуючи отримані результати слід відзначити, що оцінка чисельності населення міста Запоріжжя у 2024 році у 500 тис. мешканців суб'єктивно здається більш реалістичною, тож прогнозні значення рухливості населення саме для такої кількості мешканців є більш адекватними. Крім того, з урахуванням того, що частина тролейбусних маршрутів через закриття руху шляхопроводом Дніпровської ГЕС (№ 3, №8, №17) були скорочені і частка пасажирів цим видом транспорту була фактично втрачена, більш адекватною є оцінка транспортної рухливості мешканців на електротранспорті в цілому.

Таким чином, можна зробити висновок, що застосований метод прогнозування (експоненціальне згладжування з лінійною прогнозною функцією) дав можливість отримати прогнозне значення транспортної рухливості на міському електричному транспорті міста Запоріжжя у 2024 році з відносною похибкою 3,77 %, що є доволі точним значенням, яке придатне для проведення практичних транспортних розрахунків [6].

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Розрахунок витрат на послуги міського пасажирського електричного транспорту у місті Запоріжжя виконуємо з використанням Методичних рекомендацій щодо розрахунку тарифів на послуги міського електротранспорту, затверджених наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 25.03.2008 р. № 71 (далі — Методичні рекомендації).

Згідно Методичних рекомендацій, при плануванні витрат, на підставі яких визначається повна планова собівартість послуг міського пасажирського транспорту, враховуються витрати з операційної діяльності транспортного підприємства та фінансові витрати, пов'язані з виконанням пасажирських перевезень, а саме:

- планова виробнича собівартість транспортних послуг, які надаються мешканцям міста міським пасажирським електричним транспортом;
- адміністративні витрати транспортного підприємства;
- витрати на збут послуг міського пасажирського електричного транспорту;
- інші (накладні, загальновиробничі) витрати з операційної діяльності транспортного підприємства.

Розрахунок тарифу на послуги з перевезень пасажирів міським електротранспортом у містах України включає в собі визначення розмірів економічно обґрунтованих планових витрат транспортного підприємства, що надає такі послуги, на одного перевезеного пасажирів (за даними обстежень попиту на перевезення) та може визначатися за формулою

$$T = \frac{W \cdot (1 + R) - D}{Q}, \quad (3.1)$$

де W — повна планова собівартість послуг міського пасажирського електричного транспорту, грн;

R — планова рентабельність господарської діяльності транспортного підприємства;

D — чистий дохід, отриманий транспортним підприємством від інших видів господарської діяльності, грн;

Q — запланований річний обсяг пасажирських перевезень, пас./рік.

3.1 Розрахунок повної планової собівартості послуг міського пасажирського електричного транспорту

Повна планова виробнича собівартість послуг підприємства «Запоріжелектротранс» з перевезення пасажирів трамваями і тролейбусами у місті Запоріжжя розраховується за формулою

$$W = Z_v + E + Z_p + A + C_{\text{тор}} + C_{\text{ш}} + C_{\text{зв}} + C_a + C_z + C_{\text{ін}}, \quad (3.2)$$

де Z_v — заробітна плата водіїв, основна і додаткова, з урахуванням єдиного соціального внеску, грн.;

E — витрати на силову електроенергію, грн.;

Z_p — заробітна плата ремонтного персоналу, основна і додаткова, з урахуванням єдиного соціального внеску, грн;

A — амортизаційні відрахування на рухомий склад, контактну мережу та трамвайні колії, грн.;

$C_{\text{тор}}$ — витрати технічні огляди та ремонт рухомого складу, контактної мережі та трамвайної колії, грн;

$C_{\text{ш}}$ — витрати на заміну шин (для тролейбусів), грн;

$C_{\text{зв}}$ — загальновиробничі витрати, грн.;

C_a — адміністративні витрати, грн.;

C_z — витрати на збут, грн.;

$C_{ін}$ — інші операційні витрати, грн.

З урахуванням того, що кількість маршрутів та рухомого складу у місті постійно змінюється, виконаємо розрахунок за усередненими показниками в розрахунку на 1 км пробігу рухомого складу на маршрутах.

Заробітну плату водіїв трамваїв та тролейбусів визначаємо за формулою

$$Z_v = \frac{C_{гт} \cdot \left(1 + \frac{k_d}{100\%}\right)}{v_e} \cdot k_{гпп} \cdot k_{есв}, \quad (3.3)$$

де $C_{гт}$ — годинна тарифна ставка водія трамвая (тролейбуса), грн./год. Приймаємо для водіїв трамваїв $C_{гт} = 101,5$ грн./год., для водіїв тролейбусів $C_{гт} = 106,0$ грн./год;

k_d — коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату (доплати, надбавки) та оплату відпусток, %. Приймаємо: доплата за роботу зі змінним та розривним графіком 15 %, за роботу у нічний час (40 % при тривалості роботи у нічний час 20 %, разом 8 %), надбавка за класність 25 %, оплата відпусток 9,5 %, разом $k_d = 57,5\%$;

v_e — експлуатаційна швидкість руху на мережі трамвайних та тролейбусних маршрутів, км/год. Для тролейбусного транспорту $v_e = 12,2$ км/год, для трамвайного транспорту $v_e = 12,3$ км/год;

$k_{гпп}$ — коефіцієнт, який враховує частку заробітної плати інженерно-технічних працівників і службовців підприємства, $k_{гпп} = 1,2$;

$k_{есв}$ — коефіцієнт, який враховує відрахування до фондів соціального страхування (єдиний соціальний внесок), $k_{есв} = 1,22$.

Фонд заробітної плати водіїв трамвая на 1 км пробігу складає

$$Z_{вт} = \frac{101,5 \cdot \left(1 + \frac{57,5}{100}\right)}{12,3} \cdot 1,2 \cdot 1,22 = 19,02 \text{ грн./км.}$$

Фонд заробітної плати водіїв тролейбусів на 1 км пробігу складає

$$З_{вт} = \frac{106,0 \cdot \left(1 + \frac{57,5}{100}\right)}{12,2} \cdot 1,2 \cdot 1,22 = 20,03 \text{ грн./км.}$$

Для рухомого складу трамвая і тролейбуса передбачено такі види робіт з технічного обслуговування: щоденне (ЩО), технічне обслуговування №1 (ТО-1), технічне обслуговування №2 (ТО-2), сезонне (СО). Періодичність виконання видів робіт з технічного обслуговування рухомого складу електротранспорту визначається Правилами експлуатації трамвая і тролейбуса, затвердженими наказом Міністерства інфраструктури України від 03.02.2020 № 36. Для пасажирського рухомого складу: щоденне – щодоби, ТО-1 — один раз на тиждень, ТО-2 — через кожні 20 тис. км. пробігу, СО — двічі на рік.

Заробітну плату працівників, що зайняті технічним обслуговуванням і ремонтом рухомого складу, визначаємо виходячи з фонду заробітної плати комплексних ремонтних бригад $З_{pp}$ (грн.) та річного пробігу рухомого складу $L_{p.pc}$ (км.)

$$З_p = \frac{З_{pp}}{L_{p.pc}}. \quad (3.4)$$

Заробітну плату комплексних бригад з ремонту рухомого складу визначаємо на підставі їх штатної чисельності та річного фонду заробітної плати одного працівника бригади. Штатна чисельність комплексних бригад з ремонту рухомого складу визначається Галузевими комунальними нормами ГКН 02.05.015–2003 «Типові нормативи чисельності працівників підприємств міського електротранспорту». Нормативи чисельності персоналу з технічного обслуговування і ремонту рухомого складу встановлюються окремо для трамвая і тролейбуса на підставі даних про кількість машин, які щоденно випускаються на лінію (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 — Розрахунок кількості персоналу для технічного обслуговування і ремонту рухомого складу

Професія	Норматив чисельності працівників на одну випущену машину на лінію, чол.	
	тролейбус	трамвай
1. Слюсар з ремонту рухомого складу	1,44	1,49
2. Слюсар-електрик з ремонту електроустаткування	0,83	0,60
3. Електрогазозварник	0,12	0,10
4. Регулювальник радіоелектронної апаратури та приладів	0,03	0,13
5. Мийник-прибиральник рухомого складу	0,30	0,32
6. Слюсар з механоскладальних робіт	0,04	0,04
7. Коваль ручного кування	0,015	0,015
8. Дефектоскопіст з магнітного контролю	0,005	0,006
9. Дефектоскопіст з ультразвукового контролю	0,006	0,007
10. Вантажник	0,04	0,04
11. Підсобний робітник	0,02	0,02
12. Контролер якості	0,11	0,11
13. Маляр	0,06	0,06
14. Ремонтувальник гумових виробів	0,02	0,02
15. Акумуляторник	0,07	0,07
16. Робітник з механічної обробки деталей та вузлів (верстатник, токар, фрезерувальник, пресувальник тощо)	0,72	0,72
17. Монтер трамвайної колії	—	0,055
Разом норматив чисельності працівників	3,826	3,803
Середньоденна кількість рухомого складу, яка випускається на лінію, од.	20	36
Чисельний склад комплексних бригад з технічного обслуговування і ремонту рухомого складу, чол.	77	137

Річний фонд заробітної плати працівників комплексних бригад з технічного обслуговування і ремонту рухомого складу електротранспорту знаходимо за формулою

$$Z_{pp} = C_{гг} \cdot \Phi_p \cdot N_{пр} \left(1 + \frac{k_d}{100\%} \right) \cdot k_{гпп} \cdot k_{есв}, \quad (3.5)$$

де Φ_p — річний фонд відпрацьованих годин, год. $\Phi_p = 2096$ год.;

$N_{пр}$ — кількісний склад комплексних бригад, чол.

У розрахунках приймаємо: середня годинна тарифна ставка працівника комплексної бригади $C_{гг} = 94,6$ грн./год., коефіцієнт доплат $k_d = 57,5\%$ (аналогічно розрахунку заробітної плати водіїв), $k_{гпп} = 1,1$.

Річний фонд заробітної плати комплексних бригад з технічного обслуговування та ремонту тролейбусів

$$Z_{pp}^{тр} = 94,6 \cdot 2096 \cdot 77 \cdot \left(1 + \frac{57,5}{100\%} \right) \cdot 1,1 \cdot 1,22 = 32\,270\,539 \text{ грн.}$$

Річний фонд заробітної плати комплексних бригад з технічного обслуговування та ремонту трамваїв

$$Z_{pp}^т = 94,6 \cdot 2096 \cdot 137 \cdot \left(1 + \frac{57,5}{100\%} \right) \cdot 1,1 \cdot 1,22 = 57\,416\,413 \text{ грн.}$$

Згідно затвердженого розкладу руху по будніх та вихідних днях, річний пробіг тролейбусів на маршрутах на рік складає $L_{р.рстр} = 1\,053\,250$ км, річний пробіг трамваїв на маршрутах на рік складає $L_{р.рстр} = 2\,180\,762$ км. Таким чином, заробітна плата працівників, які зайняті технічним обслуговуванням і ремонтом рухомого складу в розрахунку на 1 км пробігу за видами електротранспорту складає:

– для тролейбусного транспорту

$$З_{\text{тр}} = \frac{32270539}{1053250} = 30,63 \text{ грн/км};$$

– для трамвайного транспорту

$$З_{\text{рт}} = \frac{57416413}{2180762} = 26,33 \text{ грн./км.}$$

Витрати на електроенергію, що витрачається тролейбусами і трамваями на 1 км пробігу, розраховуємо за формулою

$$E = \frac{W \cdot c_e}{L_{\text{р.рс}}}, \quad (3.6)$$

де W — величина річних витрат електроенергії, тис. кВт-год;

c_e — вартість 1 кВт-год електроенергії, грн., $c_e = 6,28$ грн./кВт-год, в тому числі вартість електроенергії 4,95 грн., вартість розподілу 1,33 грн.

Величина річних витрат електроенергії визначається у відповідності до Галузових комунальних норм ГКН 02.07.005–2001 «Витрати електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами. Нормативи. Метод розрахунку». Згідно норм, витрати електроенергії (тис. кВт-год) визначаються за формулою

$$W = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4, \quad (3.7)$$

де $a_0, \dots, a_4$ — значення коефіцієнтів впливу факторів, які залежать від міста України (для Запоріжжя $a_0 = -973,7855$; $a_1 = -0,900796$; $a_2 = 7,168345$; $a_3 = 0,026528$; $a_4 = -0,022803$);

X_1 — плановий річний пробіг трамвайних вагонів, тис. км;

X_2 — плановий річний пробіг тролейбусів, тис. км;

X_3 — кількість пасажирів, що перевозиться за рік трамвайними вагонами, тис. пас.;

X_4 — кількість пасажирів, що перевозиться за рік тролейбусами, тис. пас.

Згідно розрахунків основної частини маємо для трамваю $X_3 = 18\,340$ тис. пас., для тролейбусу $X_4 = 7249$ тис. пас.

Загальні витрати електроенергії підприємством на рух електротранспорту за рік складає

$$W = -973,7855 - 0,900796 \cdot 2180,76 + 7,168345 \cdot 1053,25 + 0,026528 \cdot 18\,340 - 0,022803 \cdot 7249 = 4933,1 \text{ тис. кВт-год.}$$

Оскільки витрати на електроенергію визначаються спільно для тролейбусної і трамвайної систем, розрахуємо усереднену вартість електроенергії на 1 км пробігу одиниці рухомого складу електротранспорту

$$E = \frac{4933,1 \cdot 6,28}{1053,25 + 2180,76} = 9,58 \text{ грн./км.}$$

Річні амортизаційні відрахування на рухомий склад, контактну мережу та трамвайні колії розраховуємо в цілому по підприємству за формулою

$$A' = \frac{C_{\text{брс}} \cdot n \cdot a_{\text{рс}}}{100\%} + \frac{C_{\text{кс}} \cdot a_{\text{кс}}}{100\%} + \frac{C_{\text{к}} \cdot a_{\text{к}}}{100\%}, \quad (3.8)$$

де $C_{\text{брс}}$ — середня балансова вартість одиниці рухомого складу, грн. За даними підприємства для тролейбусів $C_{\text{брстр}} = 2\,600\,000$ грн., для трамваїв $C_{\text{брст}} = 3\,800\,000$ грн.;

n — кількість одиниць рухомого складу, що знаходяться на балансі підприємства, од.;

a_{pc} — річна норма амортизаційних відрахувань на рухомий склад,
 $a_{pc} = 20\%$ (п'ята група основних фондів з терміном служби 5 років);

c_{kc} — балансова вартість контактної мережі трамваю і тролейбусу (з урахуванням питомої вартості тягових підстанцій), грн. За даними підприємства $c_{kc} = 392\,640\,000$ грн;

a_{kc} — річна норма амортизаційних відрахувань на контактну мережу,
 $a_{kc} = 6,67\%$ (третя група основних фондів з терміном служби 15 років);

c_k — балансова вартість трамвайної колії, грн. За даними підприємства
 $c_k = 299\,000\,000$ грн.;

a_k — річна норма амортизаційних відрахувань на трамвайну колію,
 $a_k = 6,67\%$ (третя група основних фондів з терміном служби 15 років).

Річні амортизаційні відрахування на рухомий склад, контактну мережу та трамвайні колії складає

$$A' = \frac{20 \cdot 2\,600\,000 \cdot 20}{100} + \frac{36 \cdot 3\,800\,000 \cdot 20}{100} + \frac{392\,640\,000 \cdot 6,67}{100} + \\ + \frac{299\,000\,000 \cdot 6,67}{100} = 83\,892\,388 \text{ грн.}$$

Річні амортизаційні відрахування на 1 км пробігу рухомого складу електротранспорту складуть

$$A = \frac{83\,892\,388}{1\,053\,250 + 2\,180\,762} = 25,94 \text{ грн./км.}$$

Річні витрати на ремонт рухомого складу, контактної мережі та трамвайної колії приймаємо у розмірі 5 % від їх балансової вартості

$$c_{top} = (20 \cdot 2\,600\,000 + 36 \cdot 3\,800\,000 + 392\,640\,000 + 299\,000\,000) \times \\ \times 0,05 = 44\,022\,000 \text{ грн.}$$

Витрати на 1 км пробігу складуть $c_{\text{тор}} = \frac{44022000}{1053250+2180762} = 13,6$ грн./км.

Витрати на шини на 1 км пробігу для тролейбусів знаходимо за формулою

$$C_{\text{ш}} = \frac{c_{\text{ш}} \cdot n_{\text{ш}}}{L_{\text{нш}}}, \quad (3.9)$$

де $c_{\text{ш}}$ — вартість однієї шини, грн. Для тролейбусних шин 275/70 R 22,5 середня вартість шини складає $c_{\text{ш}} = 7035$ грн;

$n_{\text{ш}}$ — кількість шин, якими комплектується один тролейбус, $n_{\text{ш}} = 7$;

$L_{\text{нш}}$ — середній пробіг шин до заміни, км. Приймаємо згідно Норм середнього ресурсу пневматичних шин тролейбусів, затверджених наказом Держбуду від 03.12.2001 р. № 217, $L_{\text{нш}} = 70000$ км.

Маємо

$$C_{\text{ш}} = \frac{7035 \cdot 7}{70000} = 0,70 \text{ грн./км.}$$

Загальновиробничі витрати приймаємо у розмірі 15 % від усіх статей виробничої собівартості, адміністративні витрати приймаємо у розмірі 5 % від виробничої собівартості послуг з перевезення пасажирів, витрати на збут приймаємо у розмірі 0,5 % від виробничої собівартості послуг, інші операційні витрати приймаємо у розмірі 10 % від виробничої собівартості послуг. Розрахунок витрат операційної діяльності наведений у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 — Розрахунок витрат з операційної діяльності на перевезення пасажирів міським електротранспортом у місті Запоріжжя (на 1 км пробігу)

Показник	Значення показника для виду електротранспорту	
	тролейбус	трамвай
1. Заробітна плата водіїв, основна і додаткова з урахуванням єдиного соціального внеску, грн/км	20,03	19,02
2. Витрати на силову електроенергію, грн/км	9,58	9,58

Кінець таблиці 3.2.

Показник	Значення показника для виду електротранспорту	
	тролейбус	трамвай
3. Заробітна плата ремонтного персоналу, основна і додаткова, з урахуванням єдиного соціального внеску, грн/км	30,63	26,33
4. Амортизаційні відрахування на рухомий склад, контактну мережу та трамвайні колії, грн/км	25,94	25,94
5. Витрати на технічні огляди і ремонт рухомого складу, контактної мережі та трамвайної колії, грн/км	13,6	13,6
6. Витрати на заміну шин, грн/км	0,70	–
Разом, грн/км	100,48	94,47
7. Загальновиробничі витрати (15 %), грн/км	15,07	14,17
Разом виробнича собівартість, грн/км	115,55	108,64
8. Адміністративні витрати (5 %), грн/км	5,78	5,43
9. Витрати на збут (0,5 %), грн/км	0,58	0,54
10. Інші операційні витрати (10 %), грн/км	11,56	10,86
Разом витрати операційної діяльності, грн/км	133,47	125,47

3.2 Розрахунок тарифу на послуги з перевезень пасажирів міським електричним транспортом у місті Запоріжжя

Розрахунок тарифу виконуємо за формулою (3.1), приймаючи рівень рентабельності перевезень 8 % ($R = 0,08$) та річний плановий дохід $D = 0$. Повну планову собівартість послуг міського пасажирського транспорту за рік знаходимо як добуток витрат операційної діяльності на кілометр пробігу на плановий пробіг рухомого складу за рік:

– для тролейбусного транспорту

$$W_{\text{тр}} = 133,47 \cdot 1053250 = 140577278 \text{ грн};$$

– для трамвайного транспорту

$$W_T = 125,47 \cdot 2\,180\,762 = 273\,620\,208 \text{ грн.}$$

Розрахунковий тариф на перевезення пасажирів на окремих видах міського електротранспорту складає:

– для тролейбусного транспорту

$$T_{\text{тр}} = \frac{140\,577\,278 \cdot (1 + 0,08) - 0}{7\,249\,000} = 20,94 \text{ грн.};$$

– для трамвайного транспорту

$$T_T = \frac{273\,620\,208 \cdot (1 + 0,08) - 0}{18\,340\,000} = 16,11 \text{ грн.};$$

– в середньому по мережі електротранспорту

$$T_{\text{ет}} = \frac{(140\,577\,278 + 273\,620\,208) \cdot (1 + 0,08) - 0}{7\,249\,000 + 18\,340\,000} = 17,5 \text{ грн.}$$

Таким чином, для рентабельної роботи комунального підприємства «Запоріжелектротранс» необхідно встановити тариф у розмірі 17,50 грн за одну поїздку. На даний час тариф складає 10,0 грн за одну поїздку. Для зменшення тарифу підприємству необхідно залучати додатковий пасажиропотік за рахунок підвищення якості обслуговування, скорочувати експлуатаційні витрати або збільшувати доходи від інших видів господарської діяльності (реклама, надання транспортних засобів у оренду тощо).

4 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі магістерської роботи на тему «Визначення обсягів перевезень та їх розподіл за видами міського пасажирського електричного транспорту у місті Запоріжжя» розглянутий аналіз потенційних небезпек, які можуть вплинути на робітників та дослідника під час досліджень цих питань та розроблені заходи по їх усуненню. Необхідно створити програму, яка дозволить розрахувати середньодобові, місячні, поквартальні та річні обсяги перевезень пасажирів; здійснити координацію роботи різних видів громадського транспорту та сформувані економічно обґрунтовані тарифи на перевезення. Так для зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу, м.Запоріжжя закуповує 38 тролейбусів, що знизить викиди.

Небезпеки при пасажирських перевезеннях розглянуті в додатку А. У тому ж додатку розроблені заходи по усуненню загальних небезпек та небезпек виробничої санітарії та гігієни праці, зроблено розрахунок дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, напруженості праці, значення яких були заміряні в лабораторії дослідника. В підрозділі з охорони праці розглянуті питання з цивільного захисту.

4.1 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Технічний стан автомобіля повинен відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.62-12 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті». Підігрівати двигун та інші агрегати відкритим вогнем забороняється. В зимову пору для підігріву двигуна використовують промисловий фен. Забороняється залишати на двигуні забруднені олією або паливом використані обтиральні матеріали.

Відповідно до діючих Правил дорожнього руху та НАПБ Б. -1.008-2004 «Правила експлуатації вогнегасників» на лінію автобус повинен виходити при наявності не менш одного вогнегасника ВП-5. Укомплектований медичною аптечкою, знаком аварійної зупинки, червоним ліхтарем.

Оскільки приміщення дослідницької лабораторії, що обладнане ПК має площу 35 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник з величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі виконано аналіз і прогнозування результативних показників пасажирських перевезень на міському електричному пасажирському транспорті у місті Запоріжжя, прогнозування показника транспортної рухливості населення на міському електротранспорті та розподілу річних обсягів перевезень пасажирів між тролейбусним та трамвайним видами транспорту у місті.

Аналіз динамічних рядів змінювання обсягів перевезень пасажирів на міському тролейбусному та трамвайному видах транспорту, отримані з даних Головного управління статистики України в Запорізькій області засвідчив, що починаючи з 2000 року обсяг перевезень пасажирів міським електротранспортом у місті Запоріжжя постійно зменшується. Для цих динамічних рядів розраховані основні статистики, коефіцієнт варіації яких за даними розрахунків склав від 0,32 до 0,65.

Методом експоненціального згладжування з лінійною прогнозною функцією було розроблено прогнозну модель оцінки обсягів перевезень пасажирів трамваєм і тролейбусом у місті на 2024 рік, які склали 40,39 поїздок на одного мешканця міста на рік. Для перевірки точності прогнозу було проведено обстеження пасажирських потоків візуальним методом обстеження. Порівняння прогнозного значення з фактичними показниками пасажироперевезень показало, що точність прогнозних розрахунків склала приблизно 4 %.

З урахуванням прогнозної транспортної рухливості населення на міському електротранспорті міста Запоріжжя розраховано собівартість перевезень та тариф на перевезення пасажирів за разову поїздку, який склав 17,5 грн. за одну поїздку.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Яновський, П. О. Пасажирські перевезення : навч. посібник / П. О. Яновський – К. : НАУ, 2008. – 469 с.
2. Міський транспорт: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю «Міське будівництво та господарство»/Н.І. Ільчук. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – 96 с.
3. Доля, В. К. Пасажирські перевезення : підручник / В. К. Доля. – Харків : Видавництво «Форт», 2011. – 504 с.
4. Теорія ймовірностей, математична статистика та імовірнісні процеси: навч. посіб. / Ю. М. Слюсарчук, Й. Я. Хром'як, Л. Л. Джавала, В. М. Цимбал ; Міністерство освіти і науки України, Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. – 364 с.
5. Лащених, О. А. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних процесів і систем / О. А. Лащених, О. Ф. Кузькін, С. В. Грицай. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. – 420 с.
6. Давідіч, Ю. О. Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень: навч. посібник / Ю. О. Давідіч. – Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2010. – 345 с.
7. Лазуткін М. І. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) : зі спеціальності 275.02 – «Транспортні технології на залізничному транспорті» за освітньою програмою (спеціалізацією) – «Транспортні технології на залізничному транспорті»; «275.03 – Транспортні технології на автомобільному транспорті» за освітньою програмою (спеціалізацією) – «Транспортні технології на автомобільному транспорті» : Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. 35 с.

8. Лазуткін М. І., Журавель М. О. Дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці : методичні вказівки до лабораторного заняття з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для студентів усіх спеціальностей та усіх форми навчання : Запоріжжя: ЗНТУ. Каф. ОП і НС, 2018. 44 с.

ДОДАТОК А

Заходи по забезпеченню безпеки і цивільний захист

А.1 Аналіз потенційних небезпек

До потенційних небезпек при перевезенні пасажирів електротранспортом відносяться:

- дорожньо–транспортні пригоди (ДТП), які викликані технічною несправністю транспортного засобу, недотримання Правил дорожнього руху, недостатньою поінформованістю, щодо небезпечних перехресть, які призводять до травмування , а також до загибелі як водія, дослідника, так і інших громадян;

- нервово-емоційне напруження при керуванні транспортом, яке виникає через постійну концентрацію уваги при роботі на пасажирському транспорті, а саме: доставка пасажирів відповідно шляхового листа, різке гальмування, обгін (тролейбусом), об'їзд та ускладнений проїзд регульованих та нерегульованих перехресть, вхід в транспортний потік, виїзд з нього та інше;

- поганий фізичний стан водія, може призвести до бистої втоми, порушення уваги, в наслідок чого можливе створення небезпечної ситуації на маршруті та виникнення ДТП;

- основними джерелами шуму є електричний двигун, ходова частина й кузов. Це може впливати на водія. Під впливом шуму знижується гострота зору, порушується рівновага нервових процесів, як збудження так і гальмування. Все це може призвести до ДТП;

- недодержання параметрів мікроклімату в салоні транспорту, може призвести до застудних захворювань, швидкої втоми, і як наслідки-до аварій;

- при обробці статистичних даних на комп'ютері можливе виникнення важкості та напруженості праці, та можуть діяти інші фактори санітарно-гігієнічного характеру (освітлення, мікроклімат, шум та інші).

А.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання втоми водія треба дотримуватися Положення про робочий час і час відпочинку водія вантажного автомобіля. Перерва для відпочинку та харчування надається тривалістю не менш 45 хвилин і не більш 2 годин, як правило, не пізніш через ніж через 4 години після початку роботи відповідно КЗоП України

При роботі на лінії водій повинен виконувати вимоги НПАОП 0.00-1.62-12 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті». Для попередження ДТП необхідно проводити перед рейсовий технічний огляд тролейбуса чи трамвая, з відміткою головного механіка у шляховому листі. Перед виїздом, водій повинен пройти медичний огляд. Пройти інструктаж з охорони праці, з розгляданням особливо небезпечних ділянок маршруту.

для зняття напруження при керуванні автомобілем на великі відстані в салоні дозволяється слухати музику. Музика поліпшує настрій та позитивно впливає на емоційний стан людини.

А.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Відповідно до ДСН 3.3.6-037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку, інфразвуку» рівень внутрішнього шуму в салоні транспорту не повинен перевищувати 60 дБ. Це забезпечується використанням звукоізоляції днища транспортного засобу звукоізолюючими матеріалами (шумоізоляцією).

Для забезпечення оптимального рівня параметрів мікроклімату в салоні передбачена вентиляція з подачею теплого повітря в салон.

В рамках дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості та напруженості праці були проведені відповідні виміри

мікроклімату, освітлення, рівня шуму та інші у лабораторії де є ПК, які були внесені до таблиці А.1. Потім ці дані було оброблені і внесені до таблиці А.2.

Таблиця А.1 – Результати вимірів

Фактор (показник)	Фактичне значення	Час дії, год.
Умови праці:		
Мікроклімат за ТНС-індексом, t, °C	28,8	8
Освітленість приміщення E, лк	450	8
Розряд і підрозряд зорових робіт, Z _{ор}	A - 1	-
Рівень шуму L, дБА	105	4
Напруженість праці:		
Загальні енергозатрати організму, Вт	250	7
Стереотипні робочі рухи	60300	7
Важкість праці:		
Тривалість зосередженої уваги	77	7
Тривалість робочого дня, год	8	8

Таблиця А.2 – Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Фактичне значення	Час дії, год.	ГДК, ГДР показники, Р _{доп}	X _{визн} , бали	Клас умов праці	X _i , бали
Мікроклімат за ТНС-індексом, t, °C	28,8	8	22,9-25,8	4	3,4	4
Освітленість приміщення E, лк	450	8	500	-	3,1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, Z _{ор}	A - 1	-	-	-	-	-
Рівень шуму L, дБА	105	4	50	-	3,3	0,63
Стереотипні робочі рухи	60300	7	40000	1,32		
Тривалість зосередженої уваги(в % від часу зміни)	77	7	75	0,89		
Тривалість робочого дня, год	8	8	8	0,15		

Розрахунковий коефіцієнт $X_{\text{визн}}$ при оцінці мікроклімату розраховується в балах, за формулою (7.1) [18]:

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

де t_1, t_2, t_3, t_4 – час дії фактору на відповідному ступені 4 класу, год;

T – тривалість робочої зміни, год;

1, 2, 3, 4 – ступені 4 класу (шкідливі умови праці).

$$X_{\text{визн}} = \frac{4 \cdot 8}{8} = 4$$

Загальні енерговитрати організму знайдемо за формулою (7.2) [7]:

$$X_{\text{визн}} = \frac{P_{\text{виз}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{доп}}}$$

де $P_{\text{виз}}$ – виміряні показники важкості та напруженості праці;

T – час дії показника важкості та напруженості праці;

$K_{\text{знач}}$ – коефіцієнт значимості показника, для основних показників $K_{\text{знач}}=1,0$, для допоміжних $K_{\text{знач}}=0,15$;

8 – тривалість робочої зміни, год;

$P_{\text{доп}}$ – допустимі рівні показників важкості та напруженості праці.

$$X_{\text{визн}} = \frac{250 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 290} = 0,75$$

Стереотипні робочі рухи:

$$X_{\text{визн}} = \frac{60300 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 1,32$$

Тривалість зосередженої уваги:

$$X_{\text{визн}} = \frac{77 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 75} = 0,89$$

Тривалість робочого часу:

$$X_{\text{визн}} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,15$$

Сума всіх коефіцієнтів знайдемо за формулою (7.3) [8]:

$$X_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n x_i$$

$$X_{\text{сум}} = 0,75 + 1,32 + 0,89 + 0,15 = 3,11$$

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за наступною формулою (7.4) [8]:

$$X_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n x_i$$

$$X_{\text{факт}} = 4 + 1 + 0,63 + 3 = 8,63$$

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

1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 2 ступеню, що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

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

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ГНС-індексом – 22,9-25,8 °С;
- освітленість приміщення для роботи з дисплеями відповідає розряду зорових робіт Б-1, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах - $E = 500$ лк;
- рівень шуму в робочій зоні ЦЗЛ - 50 дБА;
- загальні енергозатрати організму, до 290 Вт;
- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 40000;

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 75%;
- тривалість робочого дня 8 год.

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

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

- збільшити кількість освітлювальних приладів, щоб загальна освітленість приміщення становила 400 лк.

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

- для зменшення загальних енергозатрати організму, необхідно щоб тривалість робочого дня не перевищувала 8 год;

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

- для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно передбачити додаткові перерви.

4 Якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, у розмірі 20 %.