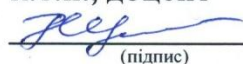


Державний університет інфраструктури та технологій
Київський інститут залізничного транспорту
Факультет «Управління залізничним транспортом»
Кафедра «Технологій транспорту та управління процесами перевезень»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

в.о. завідувача кафедри ТТУП, к.т.н., доцент

 Р.С. Щербина
(підпис)

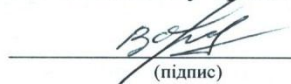
«10» грудня 2020 року

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної (магістерської) роботи
освітнього ступеня «Магістр»

**на тему «ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ У
МЕТРОПОЛІТЕНІ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи ТТ
ОПП 275.02 «Транспортні технології
(на залізничному транспорті)»

 Колін В.С.
(підпис)

Науковий керівник

 Зіненко О.Л.
(підпис)

Нормоконтроль

 Бердніченко Ю.А.
(підпис)

Рецензент

✓  Кобкал О.В.
(прізвище та ініціали)

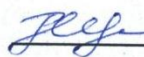
Київ 2020

Державний університет інфраструктури та технологій
 Київський інститут залізничного транспорту
 Факультет «Управління залізничним транспортом»
 Кафедра «Технологій транспорту та управління процесами перевезень»
 Освітній ступінь «Магістр»
 Галузь знань 27 «Транспорт»
 Освітньо-професійна програма «Транспортні технології (на залізничному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

в.о. завідувача кафедри ТТУПІ,

к.т.н., доцент



Р. С. Щербина

(підпис)

«01» вересня 2020 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ (МАГІСТЕРСЬКУ) РОБОТУ

студента Коліна Вадима Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження методів оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені»

науковий керівник Зіненко Ольга Леонідівна, кандидат технічних наук, доцент

(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інфраструктури та технологій від «31» серпня 2020 року № 09.2-05-448/с

2. Строк подання студентом роботи «11» грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: - літературні джерела; - матеріал зібраний під час проходження практики, - матеріали періодичних видань України та світу

4. Зміст пояснювальної записки (назва розділів основного змісту роботи):

1. Теоретичні аспекти розвитку систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені

2. Оцінка стану пасажирський перевезень у КП «Київський метрополітен»

3. Оптимізація систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені

4. Охорона праці у метрополітені в контексті оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів

5. Охорона навколишнього середовища у метрополітені

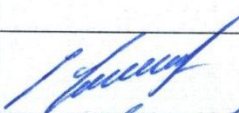
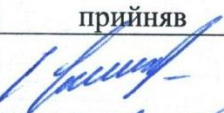
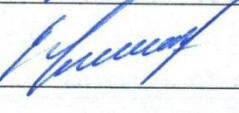
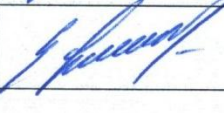
5. Перелік презентаційного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень).

В електронному вигляді:

- 1 Дослідження методів оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені
- 2 Об'єкт, предмет та мета кваліфікаційної роботи
- 3 Завдання на кваліфікаційну роботу
- 4 Система автоматизованого управління рухом поїздів (САУРП)
- 5 Системи управління рухом поїзда за рівнем автоматизації
- 6 Показники оцінки стану пасажирських перевезень, що здійснюються на основі систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені
- 7 Структура пасажирських перевезень за видами транспорту у 2014-2019 рр., %
- 8 Структура вагонів поїздів КП «Київський метрополітен» за часом експлуатації
- 9 Динаміка показників пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен» у розрізі ліній у 2014-2019 рр.
- 10 Структурно-логічна схема, яка відображає загальну методику оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені
- 11 Порівняльна характеристика функціонування КП «Київський метрополітен» та повністю автоматизованих метрополітенів світу
- 12 Пропускна здатність
- 13 Резерви скорочення інтервалу часу між поїздами за рахунок оптимізації САУРП
- 14 Існуюча та розрахована проектна пропускна здатність ліній КП «Київський метрополітен»
- 15 Кореляційні зв'язки між показниками стану пасажирських перевезень та пропускною здатністю у 2016-2019 рр.
- 16 Аналіз взаємозв'язку динаміки показника пропускної здатності та окремих показників стану пасажирських перевезень
- 17 Сценарії розвитку ключових показників стану пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен»

В паперовому вигляді:

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона навколишнього середовища	к.і.н., доцент Сорочинська О.Л.		
Охорона праці	к.і.н., доцент Сорочинська О.Л.		

7. Дата видачі завдання: «01» вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної (магістерської) роботи	Період виконання етапів роботи
1	Збір літератури, її опрацювання, підготовка 1 розділу	01.09.2020 – 25.09.2020
2	Розробка 2 розділу	26.09.2020 – 15.10.2020
3	Збір інформації, її аналіз, розробка 3 розділу	16.10.2020 – 05.11.2020
4	Розробка основної частини роботи, характеристика впроваджень	01.11.2020 – 15.11.2020
5	Розрахунок ефекту запропонованих у роботі впроваджень	06.11.2020 – 15.11.2020
6	Опрацювання джерел, підготовка розділу про охорону праці	05.11.2020 – 20.11.2020
7	Розробка розділу про захист навколишнього середовища	05.11.2020 – 20.11.2020
8	Оформлення висновку, додатків та списку використаних джерел	20.11.2020 – 27.11.2020
9	Підготовка презентаційного матеріалу	20.11.2020 – 02.12.2020
10	Подання роботи	10.12.2020

Студент

(підпис)

Колін В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Зіненко О.Л.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ:

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ У МЕТРОПОЛІТЕНІ	12
1.1 Сутність та особливості систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені	12
1.2 Виникнення та стандартизація систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені	23
1.3 Показники оцінки стану пасажирських перевезень, що здійснюються на основі систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені	33
2 ОЦІНКА СТАНУ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У КП «КИЇВСЬКИЙ МЕТРОПОЛІТЕН»	46
2.1 Аналіз діяльності КП «Київський метрополітен»	46
2.2 Дослідження стану пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен»	56
2.3 Аналіз існуючих систем автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен»	66
3 ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ У МЕТРОПОЛІТЕНІ	78
3.1 Обґрунтування необхідності та визначення методів оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен»	78
3.2 Ідентифікація цільових критеріїв оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен»	88
3.3 Оцінка впливу запропонованих заходів на ключові показники стану пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен»	98

4 ОХОРОНА ПРАЦІ У МЕТРОПОЛІТЕНІ В КОНТЕКСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ	110
5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА У МЕТРОПОЛІТЕНІ	115
ВИСНОВКИ	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	124
ДОДАТОК А ОРГАНІЗАЦІЙНА СТРУКТУРА КП «КИЇВСЬКИЙ МЕТРОПОЛІТЕН»	130
ДОДАТОК Б ПОШИРЕННЯ САУРП РІВНІВ GOA3 ТА GOA4 У СВІТІ	131

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

GoA – Grade of automation;

АЛС – автоматична локомотивна сигналізація;

АЛС-АРШ – система автоматичної локомотивної сигналізації з автоматичним регулюванням швидкості;

АСНП – автоматичною системою зчитування номера поїзда;

ДАУ-АРШ – система дистанційного автоматизованого управління з автоматичним регулюванням швидкості;

ДЦ – диспетчерська централізація;

ЕЦ – електронна централізація;

МПЦ – мікропроцесорна централізація;

МРЦ – маршрутно-релейна централізація;

МСГТ – Міжнародний союз громадського транспорту;

ПЗ – пропускна здатність;

ПсАП – підсистема автоведення поїзду;

ПсБР – підсистема із забезпечення безпеки руху;

ПсІРР – підсистема інтервального регулювання руху;

ПсРЗП – підсистема радіосповіщення та зв'язку з пасажирями;

ПТЕ – правила технічної експлуатації;

САБ – система автоматичного блокування;

САУРП – система автоматизованого управління рухом поїздів;

СЕУ – система екологічного управління;

СОУКМТ – системи оперативного управління і контролю міським транспортом

ЧСЦП – черговий по станції посту централізації.

ВСТУП

В умовах значного підвищення ритму життя у містах-мільйонниках на перший план виходить забезпечення підтримки такого ритму з боку транспортної системи, яка має відповідати динамічно зростаючим потребам пасажирських перевезень і бути готовою до найбільших потенційних пікових навантажень на неї. Не виключенням є метрополітен, який сьогодні без перебільшення вважають найголовнішою транспортною артерією найбільших міст і в тому числі м. Києва, яка щоденно обслуговує майже двохмільйонний пасажиропотік, із найщільнішим графіком руху порівняно із іншими видами транспорту. Так, станом на кінець 2019 року обсяг пасажирських перевезень метрополітенівським видом транспорту займає 53% у загальній структурі пасажирських перевезень. В такій ситуації значної уваги потребують раціональна технологія експлуатації рухомого складу, оптимізація та підвищення рівня ефективності перевізного процесу у умовах інтенсифікації процесів інформатизації та діджиталізації, що в свою чергу матиме наслідком підвищення рівня безпеки, комфортабельності та якості пасажирських перевезень у метрополітені.

З огляду на це та в умовах значного збільшення навантаження першочерговою задачею стає оптимізація існуючих систем автоматизованого управління рухом поїздів (САУРП) на основі підвищення рівня їх автоматизації, що як показує світовий досвід дозволить оптимізувати рух поїздів метрополітену, підвищити рівень безпеки під час здійснення пасажирських перевезень, а також знизити рівень витрат. За даними Міжнародного союзу громадського транспорту (МСГТ) підвищення рівня автоматизації САУРП дозволяє підвищити рівень пропускної здатності лінії на 20-25%, скоротити витрати на споживання енергоресурсів на 5% та витрати на обслуговування та експлуатацію рухомого складу на 5-12% [35; 38].

Теоретичні та методичні аспекти автоматизації у метрополітені досліджені у працях таких науковців як: Дмитрієв С. В. [8], Єлісєєв В. М. [9], Лаврік В. В. [15], Логінов Г. І. [16], Баранов Л. А. [19], Мойсеєнко В. І. [21], Палант О. Ю., Стаматін В. В. [41; 42], Прохорченко А. В., Маловічко В. В., Декарчук О. М., Красноштан О. М., Казмірчук Н. В. [45], Шульц В. А. [50] тощо. Значний вклад в аналіз підвищення рівня автоматизації САУРП здійснили закордонні фахівці в рамках досліджень, фінансованих Міжнародним союзом громадського транспорту [35] та Американської асоціації громадського транспорту [25].

Однак, попри існування великої кількості напрацювань в сфері автоматизації руху поїздів як складової загальної системи забезпечення безперебійності та безпеки пасажирських перевезень у метрополітенах світу, невирішеним залишається питання оптимізації таких систем в Україні.

Отже, метою магістерської роботи є обґрунтування необхідності та дослідження методів оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів для вітчизняного метрополітену, а також ідентифікація напрямів і критеріїв такої оптимізації. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- узагальнити підходи до визначення сутності та особливостей систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені;
- дослідити еволюцію виникнення та стандартизації систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені;
- систематизувати показники оцінки стану пасажирських перевезень, що здійснюються на основі систем автоматизованого управління рухом поїздів;
- здійснити аналіз діяльності КП «Київський метрополітен»;
- дослідити стан пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен»;
- охарактеризувати та проаналізувати існуючі системи автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен»;

- обґрунтувати необхідність та визначити методи оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен»;
- ідентифікувати цільові критерії оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен»;
- здійснити оцінку впливу від оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів на ключові показники стану пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен»
- дослідити систему охорони праці у метрополітені в контексті оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів;
- проаналізувати вплив метрополітену на навколишнє середовище.

Об'єктом дослідження є процес оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені.

Предмет дослідження – теоретико-методичні засади, методи, умови, детермінанти та особливості оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені.

При написанні магістерської роботи використані такі методи дослідження: аналізу та синтезу, порівняння та історико-логічного узагальнення, статистичні методи, методи факторного аналізу та кореляційно-регресійного аналізу, методи системно-структурного аналізу та моделювання. Обробка інформації, необхідної для написання роботи здійснена із використанням сучасних інформаційних технологій та систем.

Інформаційну базу дослідження склали офіційні публікації та аналітичні матеріали Державної служби статистики, Головного управління статистики у м. Києві, Київської міської державної адміністрації, Міжнародного союзу громадського транспорту, Обсерваторії автоматизованих метрополітенів, а також індивідуальні та колективні наукові праці, наукові статті з досліджуваної проблеми видатних вітчизняних та зарубіжних науковців.

Зміст ключових результатів дослідження висвітлено у власних наукових публікаціях, а саме у статті для Збірника наукових праць студентів ДУІТ «Молодий науковець».

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що розроблені у роботі рекомендації стосовно методів та необхідності оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів можуть розглядатися як один з пріоритетних напрямів оптимізації пасажирських перевезень у метрополітені.

Дана магістерська робота складається з переліку умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів, вступу, 5 розділів, висновку, переліку використаних джерел та додатків. В них висвітлені сутність та характеристики функціонування систем автоматизованого управління рухом поїздів різних рівнів автоматизації, проаналізовані основні показники оцінки стану пасажирських перевезень у метрополітені, що здійснюється на базі САУРП, обґрунтована необхідність оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен», проаналізовано вплив запропонованих заходів на безпеку роботи машиністів, а також загальний вплив метрополітену на навколишнє середовище. Пояснювальна записка складається з 131 сторінки, у тому числі 17 рисунків, 22 таблиці, 2 додатки.

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ У МЕТРОПОЛІТЕНІ

1.1 Сутність та особливості систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені

В умовах значного підвищення рівня технологічності та інформатизації в економічній та промисловій сферах, на перший план виходить необхідність постійного слідування за нововведеннями та модернізаціями, що дозволяють ефективно функціонувати підприємствам в таких умовах. Не виключенням є і масові пасажирські перевезення за допомогою залізничного транспорту та метрополітену. На сьогодні метрополітен є одним з найшвидших та оптимальних за кількістю рухомого складу, частотою та безпекою руху видом транспорту. Не дивлячись на те, що цей вид транспорту з'явився відносно недавно, у другій половині XX сторіччя, його технологічна модернізація відбувається постійно. Особливо швидко це відбувається у розвинених країнах, тоді як, у країнах, що розвиваються і особливо у пострадянських країнах, таке оновлення відбувається значно нижчими темпами.

Так, однією з найбільших хвиль модернізації метрополітенів 70-80 років XX сторіччя у світі було впровадження систем автоматизованого управління рухом поїздів (САУРП), що було обумовлено інтенсивним ростом міст-мільйонників, значним збільшенням кількості станцій, загальним зростанням пасажиропотоку із одночасним підвищенням рівня вимог до безпеки руху. У загальному САУРП являє собою комплексну складну систему, окремі підсистеми якої створені з метою удосконалення управління рухом поїздів, а також службами та підрозділами метрополітену.

Варто зазначити, що теоретичні аспекти дослідження явища систем автоматизованого управління рухом поїздів зосереджено в працях іноземних фахівців та дослідників, тоді як вітчизняні напрацювання здебільшого являють

собою вивчення зарубіжного досвіду впровадження та удосконалення таких системи. Також слід додати, що розробки, як теоретичного так і практичного характеру, здійснюються здебільшого на комерційній основі, і мають на меті безпосереднє наступне впровадження у сферу виробництва. Саме тому за ними стоять великі міжнародні транспортні та логістичні організації, які сьогодні об'єднані в міжнародні спілки із забезпечення безперебійних та безпечних пасажирських перевезень.

Сьогодні, у вітчизняній та зарубіжній літературі в даному напрямі дослідження використовують такі поняття: «система автоведення поїздів» [19; 23; 41], «система автоматизованого управління рухом поїздів» [7; 42], «система автоматизації руху» [45], «система автоуправління поїздом» [7; 23] тощо. Проаналізувавши велику кількість визначень даного поняття, можна узагальнити і впевнено сказати, що всі вони зводяться до одного і суперечок між дослідниками щодо етимології даного поняття в цілому немає.

Так, можна узагальнити, що *система автоматизованого управління рухом поїздів (САУРП)* – це система автоматизованого або частково-автоматизованого керування поїздом без безпосередньої постійної участі машиніста, яка дозволяє підвищити пропускну здатність поїздів, оптимізувати графік руху та знизити витрати за рахунок впровадження систем централізації, які дають змогу одночасно керувати та корегувати дії різних служб метрополітену.

Як і будь-яка система, САУРП включає в себе ряд складових підсистем, які безпосередньо створюють умови для здійснення безпечних та безперебійних пасажирських перевезень у метрополітені. Саме ці складові дозволяють поєднати та узгодити роботу різних служб та відділів, які відповідають за ключові функції та процеси при здійсненні перевезень. У джерелах [7; 41] виділяють від 2-ох до 5-ти підсистем. Проаналізувавши їх наразі можна виокремити такі складові підсистеми САУРП: підсистема інтервального регулювання руху (ПсІРР); підсистема автоведення поїзду (ПсАП), підсистема радіосповіщення та зв'язку з пасажирами (ПсРЗП) і підсистема із забезпечення безпеки руху (див. рисунок 1.1).

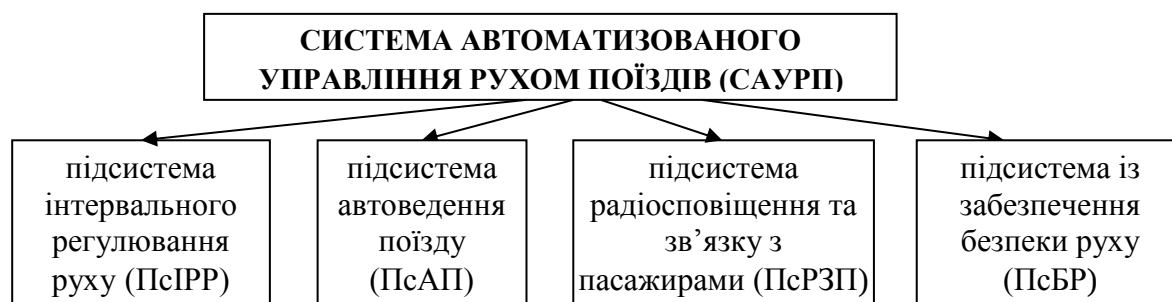


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення структури САУРП

ПсІРР заснована на принципі раціоналізації режимів ведення поїздів і дозволяє автоматизувати системи пуску та прискорення, обирати режим ведення поїзду по перегону з метою виконання заданого часу проходження, забезпечує гальмування на вимогу автоматичних обмежувачів швидкості, прицільне гальмування у платформ, що значно полегшує роботу машиністів та дозволяє унеможливити їх неправомірні дії, що в свою чергу підвищує рівень безпеки руху [42].

ПсАП являє собою складний програмно-апаратний комплекс, що на основі розрахунку оптимальних алгоритмів витрат електроенергії при гальмуванні, наборі швидкості та проходження міжстанційних ділянок, дозволяє забезпечити автоматизоване управління електропоїздом, що у мовах різної інтенсивності руху поїздів (мається на увазі різниця пасажиропотоку у години пік та обідні години, робочі та вихідні і святкові дні тощо) має переваги в точності виконання графіків руху порівняно з ручним методом управління, який максимально залежить від людського фактору.

ПсРЗП у цілому виконує функцію сповіщення пасажирів про поїзд, яка автоматично спрацьовує при проходженні певних контрольних точок в рамках існуючих інтервалах руху та виконанні часу прибуття та стоянки поїзду.

ПсЗБР раніше виступала в якості елементів попередніх трьох підсистем, але в умовах значного підвищення пасажиропотоку у метрополітенах світу дослідники запропонували виокремити дану складову як окрему підсистему, яка хоч і є значно інтегрованою і залежною від трьох попередніх, має надважливе

значення в умовах сьогодення. Це пояснюється тим, що хоч автоматизація всіх або окремих процесів управління і дозволяє знизити вплив людського фактору, разом з тим контроль над самою системою є необхідним з метою унеможливлення виникнення збоїв в системі, що можуть призвести до негативних наслідків.

Сьогодні існує велика кількість підходів до класифікації САУРП, які виділяють дослідники різних країн. Так, Палант О.Ю. та Стаматін В.В. у роботі [42] пропонують п'ять критеріїв класифікації САУРП: за місцем розташування, за типом поїзду, за видом програмного забезпечення, за місцем розташування блоків керування, за апаратною реалізацією (див. рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Загальна класифікація САУРП [42]

Так, за місцем розташування автори пропонують виділяти автономні, управління яких розташовані на окремих станціях чи центрах управління, та

централізовані системи, при яких керування здійснюється через головний центр управління. За типом поїзду САУРП поділяють на системи для метрополітенів, системи для приміських поїздів (здебільшого електрички), а також системи для пасажирських та вантажних поїздів. За місцем розташування блоків керування виділяють бортові, що знаходяться безпосередньо на борту рухомого складу, та підлогові, що розташовуються на підлоговому обладнанні. За видом програмного забезпечення САУРП поділяють на стаціонарні, що вмонтовані в пам'ять САУРП, та на ті, що здійснюють програмування в реальному часі (під час руху поїзду). До останніх також належать системи, що розраховують параметри руху циклічно (за певну кількість пройдених кіл чи за відстанню). За ступенем автоматизації розрізняють повністю та частково автоматизовані системи. І за апаратною реалізацією розрізняють системи такі, що побудовані на спеціалізованих пристроях (блочні, релейні, блочно-релейні) і такі, що побудовані на мікропроцесорних схемах.

Кондратьєва Л.А., Ромашкова О.Н., Соколов С.В. Щигольов С.А., Талалаєв С.І. більшу увагу в своїх дослідженнях зосереджують на апаратній реалізації при впровадженні САУРП, а саме на місці застосування, побудови та пристроях, що використовуються. За цим критерієм у роботах [12, с.6-9; 47; 51] виділяють перегінні та станційні системи (див. рисунок 1.3). Варто відзначити, що даний підхід стосується не тільки поїздів метрополітену, а й залізниць у цілому.

Перегінні системи дозволяють або забороняють відправлення поїзда на перегін, що в такому випадку унеможлиблює відправлення поїзда на зайняту ділянку чи перегін [12, с.6]. У свою чергу перегінні системи можуть бути: напівавтоматичного блокування, автоматичного блокування, диспетчерського контролю, автоматичної локомотивної сигналізації [12, с.7; 8].

Система напівавтоматичного блокування (НАБ) створює умови при яких сигнали, що дозволяють поїзду зайняти перегін, спрацьовують при певних діях

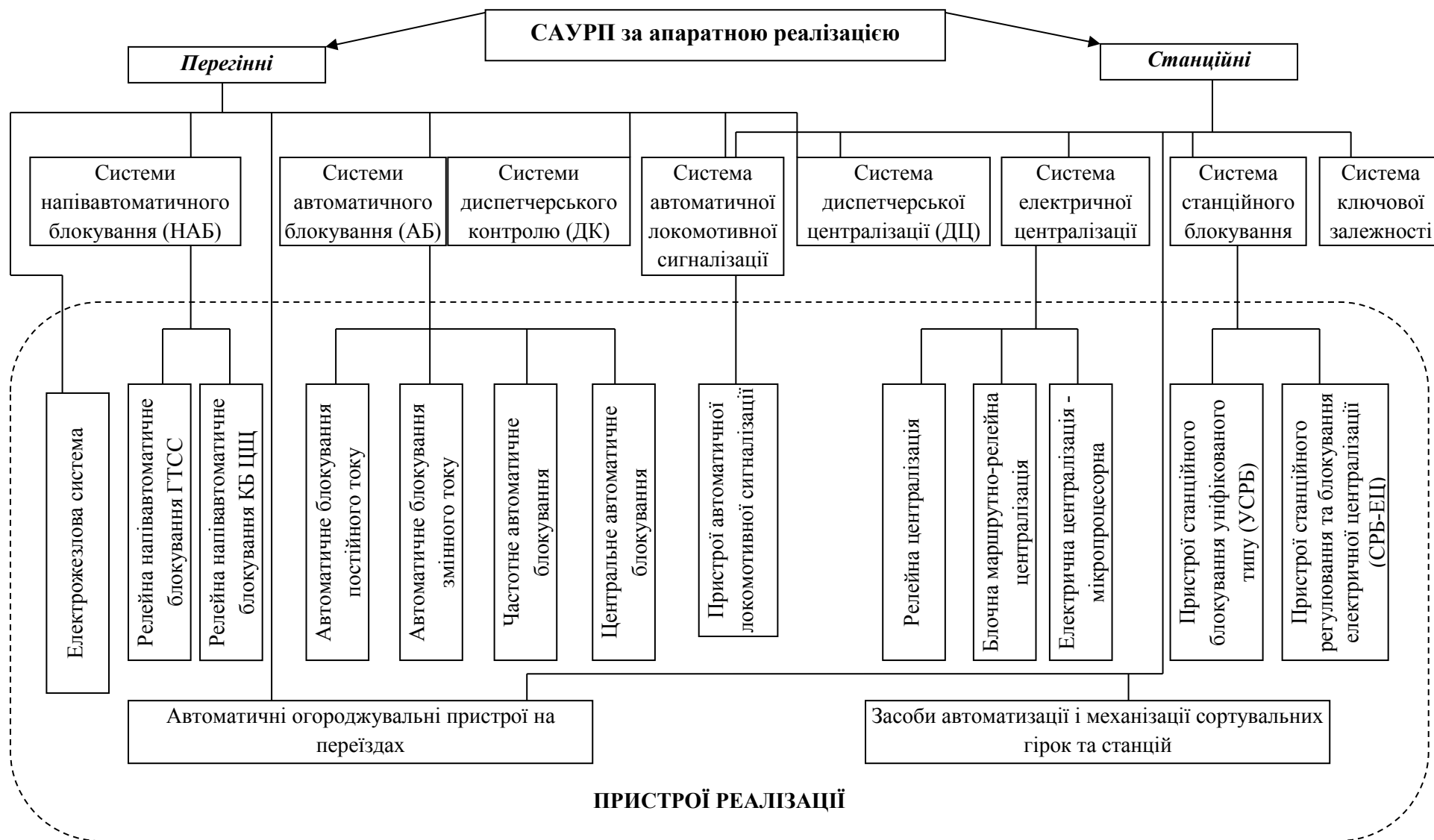


Рисунок 1.3 – Класифікація САУРП за апаратною реалізацією

працівників, що управляють рухом поїздів, заборонні ж сигнали спрацьовують автоматично [51]. Система автоматичного блокування (АБ) здійснює управління сигнальними приладами без участі працівників – під час проходження поїздом контрольних точок. Система диспетчерського контролю (ДК) – це система, яка дозволяє поїзному диспетчеру здійснювати оперативні втручання та контроль під час руху поїзду [12, с.8; 47].

Система автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) – це система, яка дозволяє шляхом кодування сигналів передавати ці сигнали з підлогових та сигнальних пристроїв безпосередньо до кабіни машиніста. Невід’ємною складовою даної системи є наявність автостопів, засобів перевірки уважності машиніста, а також обов’язковий контроль швидкості руху поїзда [45, с.116].

Станційні системи забезпечують взаємну залежність стрілок та сигналів під час приймання та відправлення поїзда, контролюють положення стрілок (необхідність переведення на визначених маршрутах), а також здійснюють перевірку чи не зайняті стрілкові дільниці іншим рухомим складом із подальшим наданням відповідного сигналу [12, с.8; 44]. До них належать:

- система ключової залежності, яка використовується на станціях де збережено принцип ручного управління стрілками для забезпечення взаємного замикання стрілок та сигналів за допомогою контрольних замків;
- система станційного блокування, за допомогою якої здійснюється взаємне замикання стрілок та сигналів, управління якими може здійснюватися з різних постів;
- система електричної централізації (ЕЦ), яка забезпечує управління стрілками та сигналами, їхньою взаємозалежністю, перемиканням світлофорів на дозвільні знаки і навпаки з пульту. Різновидами такої системи є: релейна централізація, блочна-маршрутно-релейна централізація та мікропроцесорна централізація;
- система диспетчерської централізації (ДЦ), яка забезпечує управління стрілками та сигналами, їхньою взаємозалежністю, перемиканням

світлофорів на дозвільні знаки і навпаки з центру управління в рамках диспетчерського кола.

Кожен з цих видів систем має як переваги так і недоліки. Однак, варто зазначити, що поява нових систем у класифікації обумовлена здебільшого не їх варіативним різноманіттям, а подальшою всеосяжною автоматизацією. Так, наприклад, найбільш розповсюдженим серед систем напіваавтоматичного блокування є релейне блокування, що обумовлено її надійністю. Однак, якщо порівнювати, то система автоматичного блокування є більш досконалою порівняно з напіваавтоматичною через те, що дозволяє збільшити пропускну здатність, а це є неабияким важливим нюансом при здійсненні пасажирських перевезень. Серед станційних систем найбільш технологічною та удосконаленою є система мікропроцесорної централізації, що так само обумовлено постійним удосконаленням та підвищенням техніко-економічних показників експлуатаційної роботи метрополітенів.

Однак найбільш цікавою в даному напрямі дослідження, на нашу думку, є класифікація Міжнародного союзу громадського транспорту (МСГТ) (від фр. Union Internationale des Transports Publics, UITP), який активно працює у розробці сучасних технологій для громадського транспорту і дає рекомендації для їх розвитку для різних країн [35]. Варто зазначити, що членами даного союзу є більш ніж 1700 підприємств у 100 країнах світу, тоді як Україна представлена лише одним підприємством – КП «Харківський метрополітен», який має статус оператора в даному союзі [35].

На основі проведення великої кількості досліджень, розрахунків і тестувань, фахівці дослідницьких організацій, що є членами даного союзу, із 2014 року класифікують САУРП за ступенем автоматизації (Grade of automation (GoA)), який визначається залежно від того, хто є відповідальним за ключові функції експлуатації поїзду: машиніст чи безпосередньо система. Так, існує 5 рівнів автоматизації, які у цілому ранжуються від ступеня GoA0, де експлуатація здійснюється повністю під наглядом машиніста і характерна для роботи вуличних

трамваїв, до ступеня GoA4, де поїзд експлуатується повністю автоматично, не маючи на борту нікого з операційного персоналу (машиніст, помічник машиніста) і який наразі є досить рідкісним явищем та представлений лише на окремих лініях метро в таких країнах як США, Іспанія, Данія, Швейцарія [35].

За методологією МСГТ класифікація САУРП в рамках діяльності метрополітенів здійснюється за 4 рівнями: від GoA1 до GoA4 (див. таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Системи управління рухом поїзда за рівнем автоматизації

Рівень автоматизації (GoA)	Експлуатація поїзда	Рушання поїзда	Зупинка поїзда на станціях	Зачинення дверей	Управління під час збоїв
GoA1	Машиніст із використанням автоматичних систем безпеки	Машиніст	Машиніст	Машиніст	Машиніст
GoA2	Машиніст з частковим перекладанням функцій на САУРП	Машиніст або САУРП	САУРП	Машиніст або САУРП	Машиніст
GoA3	САУРП без машиніста але з екіпажем на борту	САУРП	САУРП	САУРП або члени екіпажу поїзда	За потреби: член екіпажу поїзда
GoA4	САУРП, повністю автономний поїзд без екіпажу	САУРП	САУРП	САУРП	За потреби: автоматично, дистанційно або із залученням персоналу ззовні

Джерело [25; 35]

Так, САУРП першого рівня, GoA1 передбачає, що машиніст відповідальний за рух поїзда, а система відповідальна за безпеку. В даному випадку система є допоміжним інструментом у машиніста і відповідає лише за функції підтримки, тоді як фактичне управління поїздом повністю виконує екіпаж. Рух поїзда контролюється підсистемою забезпечення безпеки руху (ПсБР), яка виконує захисну функцію і використовує автоматичне аварійне гальмування для запобігання інцидентів, таких як пропуск сигналів зупинки (стоп-сигналів) або перевищення дозволеної швидкості. У світі більша частина рухомого складу

метрополітенів зараз працюють відповідно до рівня GoA1, а функції ПсЗБР виконуються різними системами типу «Європейська система управління поїздами», «Система управління поїздами ZBMS» тощо [38].

САУРП рівня GoA2 передбачає, що машиніст може використовувати автопілот під час керування поїздом. Так, машиніст може повністю передати контроль за фактичним керуванням і в разі потреби втрутитися, особливо в разі виникнення збоїв або інших непередбачуваних інцидентів. Машиніст поїзда стежить за маршрутом, і поїзд не обов'язково оснащується будь-якими додатковими датчиками, хоча деякі виробники поїздів наразі розробляють додаткові системи допомоги для стеження за коліями. У цьому режимі зачинення дверей може виконувати як машиніст, так і система. Як тільки двері закриваються, машиніст поїзда активує функцію САУРП рівня GoA2: надає дозвіл на поїздку і поїзд автоматично від'їжджає, а потім автоматично зупиняється на наступній станції. Оптимальна швидкість поїзда розраховується за допомогою алгоритмів руху САУРП для маршруту в залежності від факторів, таких як вчасність, умови колії, умови експлуатації поїзда та енергопостачання. Наразі така система частково впроваджена на деяких лініях у Великій Британії, Данії, США, Іспанії [38].

Система рівня GoA3 передбачає автономний рух поїзда із супроводом екіпажу. За таких умов поїзд їде повністю автоматично, система сама стежить за маршрутом (за допомогою датчиків або системи розпізнавання об'єктів) і зупиняється у визначених місцях зупинки. У вагонах поїзда є щонайменше один член екіпажу, який в основному виконує обов'язки з обслуговування пасажирів і, за необхідності, може втручатися у разі збоїв. У разі непередбачуваних ситуацій ця людина може виконувати функції, пов'язані з безпекою пасажирів, такі як евакуація, закриття дверей тощо [25; 38].

Система рівня GoA4 передбачає повністю автономну експлуатацію і керування поїздом без супроводу екіпажу. За таких умов на борту повністю відсутній екіпаж, а САУРП сама реагує на більшість можливих інцидентів під час

руху. В разі виникнення більш серйозних непередбачуваних ситуацій у САУРП можуть дистанційно підключитись спеціалісти для керування поїздом, або ж можуть бути залучені інші станційні працівники на місці в разі, якщо ситуація має аварійний характер [35]. Такі системи впроваджені на деяких лініях в США, Канаді, Данії, Японії.

Отже, на рівнях GoA3 та GoA4 рух повністю контролюється системою із паралельним моніторингом колій, а дистанційне керування можливе за допомогою спеціальних приладів, до того ж люди які це здійснюють можуть знаходитись у спеціалізованих приміщеннях станцій метрополітену чи у центрах управління рухом поїздів, як це реалізовано, наприклад у США, країнах Азії, Канаді тощо.

Таким чином, системи автоматизованого управління рухом поїздів (САУРП) на сьогодні є новою хвилею модернізації та автоматизації процесів пасажирських перевезень у світі. Появу даного явища, з чим погоджується більшість науковців, пов'язують із необхідністю постійного удосконалення технологій пасажирських перевезень із одночасним збереженням їх продуктивності в умовах зростаючого попиту. Дослідження даного явища з різних сторін дало змогу науковцям розробити декілька підходів щодо класифікації САУРП за різними критеріями, однак якщо узагальнити ці підходи, то можна зробити висновок, що їх існування пов'язано не з варіативністю та різноманіттям САУРП, а здебільшого із постійним їх удосконаленням та підвищенням рівня технологічності. Саме тому на сьогодні найбільш розповсюдженим підходом до класифікації є розподіл САУРП за рівнем автоматизації, а загальновизнаною у більшості країн світу є класифікація, розроблена Міжнародним союзом громадського транспорту (МСГТ), яка ділить САУРП за рівнями автоматизації від GoA0 та GoA4.

1.2 Виникнення та стандартизація систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені

Історичною передумовою розробки і впровадження САУРП, як вже частково було зазначено в 1.1., стала необхідність підвищення продуктивності праці в умовах інтенсифікації процесів пасажирських перевезень, що значно ускладнювало роботу машиніста поїзда та підвищувало рівень психофізіологічного навантаження, оскільки підвищення продуктивності та якості перевезень повинно було супроводжуватись одночасним підвищенням рівня безпеки перевезень. Напруга та втомленість ставали саме тим людським фактором, через які відбувались транспортні аварійні ситуації. Так, за оцінками фахівців людський фактор був причиною 90% таких подій [20; 22]. З огляду на це все виникла необхідність створення «автопомічника», який би знизив рівень навантаження, а також розподілив роботу машиністів та іншого допоміжного персоналу.

Якщо говорити про появу першої в світі САУРП, то вважаємо за необхідне акцентувати увагу на тому, що науковці мають дещо різні думки з цього приводу: роки появи першої САУРП різняться з 1957 по 1967 рр. Саме 1950-1970 рр. є періодом післявоєнного відновлення, а також активного та інтенсивного розвитку залізниць та містобудування в усьому світі, і така розбіжність у роках перш за все пов'язана із тим, де планувалось встановлювати САУРП та типом поїздів, на які планували встановлювати, оскільки розвиток цих систем у метрополітені в даний період був значно пов'язаний із розвитком таких систем на залізницях.

Проведений аналіз великої кількості джерел в галузі систем автоматизованого управління рухом поїздів дав змогу систематизувати дані і представити їх появу в різних країнах світу у хронологічному порядку (див. таблиця 1.2). Своєю чергою це дозволяє етапувати появу САУРП, зрозуміти їх

історичну еволюцію і модифікацію, а також порівняти швидкість і напрямки їх розвитку за країнами світу.

Таблиця 1.2

Найбільш значні етапи еволюції САУРП в світі

Рік	Країна	Подія
1957	СРСР	Створена перша система автоведення поїздів «автомашиніст» для приміських поїздів
1962	СРСР	Здійснені перші випробування систем автоведення поїздів у Московському метрополітені
1967	Велика Британія	Відкриття повністю автоматизованої лінії «Victoria line» Лондонського метрополітену на базі САУРП.
1969	США	Відкриття повністю автоматизованої лінії «Patco» на базі САУРП в США штат Нью Джерсі.
1977	Канада	Впровадження САУРП на зеленій, помаранчевій та синій лініях метрополітену в Монреалі
1979	Китай	Всі існуючі лінії метрополітену, побудовані корпорацією MTR, повністю переведені на автоматизовані САУРП
1980	Канада	Впровадження САУРП на основі кабельної петлі із функціями автозахисту руху поїзду, автоведення та автоматичного дистанційного керування поїздом у метрополітені Ванкувера.
1980	Велика Британія	Відкриття повністю автоматизованої лінії в Глазго
1981	Японія	Відкриття лінії Порт Айленд в м.Коба на базі повністю автоматизованої системи, що курсує по моноколії
1983	Франція	Відкриття першого автоматизованого легкого метро на базі пневматичного шинного руху в м.Лілль
1987	Франція	Впровадження САУРП на основі кабельної петлі між рейками для важких поїздів метрополітену на 14-ій Паризькій лінії (Meteor).
1990	Росія	Впровадження удосконаленої системи автоведення поїздів на базі мікропроцесорів, що супроводжувалось встановленням комп'ютерів.
1991	Чехія	Впровадження напів-автоматичної САУРП, що сьогодні прирівнюється до рівня GoA2

Джерело: [1; 3; 4; 5; 26; 35; 48]

Історичний досвід демонструє, що в різних країнах САУРП впроваджувалась по-різному: деякі впроваджували системи на існуючих лініях модернізуючи існуючу систему, змінюючи технології та апаратуру, інші ж витрачали більше часу на проектно-дослідницькі роботи на початку і далі відкривали вже цілі лінії метрополітену із системами автоведення різного рівня автоматизації.

Так, у 1957 році у СРСР була створена перша автономна система автоведення - «автомашиніст», для приміських поїздів, яка виконувала функції

локомотивної бригади, а саме: ввімкнення та вимкнення тягових двигунів при регулюванні часу руху по перегону, управління прицільним гальмуванням на станціях, виконання обмежень по швидкості і потужності тяги, відкривання і закривання дверей, включення радіоінформатора. У 1961-1962 рр. ця система була випробувана у Московському метрополітені, а її апаратура складалася з бортової універсальної обчислювальної машини, в яку завантажувалася програма руху та вихідні дані для вирішення завдань управління; пульта машиніста; осьового вимірювача координат руху поїзда; блоку реле. Для точної зупинки поїзда перед кожною станцією на відстані максимального гальмівного шляху встановлювався коригувальний датчик шляху. Однак дана система не набула значного поширення через свою недостатню надійність і в подальшому зазнала модифікацій [48].

Першою ж всесвітньо визнаною, повністю автоматизованою лінією стала «Лінія Вікторія» («Victoria Line») Лондонського метрополітену [3]. На момент її відкриття та початку функціонування у 1967 році машиніст все ж таки був присутнім у поїзді, але до списку його обов'язків входило лише управління відкриванням та закриванням дверей, а також ініціювання початку руху поїзду. Варто також додати, що він був присутній в поїзді іще з міркувань психологічної підготовленості пасажирів, оскільки спочатку люди були не готові сідати у поїзд без машиніста, деякі вважали це небезпечним, не довіряли.

Через два роки, а саме у 1969 р., наступну повністю автоматизовану лінію на базі САУРП відкрили у штаті Нью Джерсі, в США. Це була швидкісна лінія «Patco», що поєднувала Філадельфію, Пенсільванію та Лінденволд. САУРП на цій лінії – це аналогова система, яка використовувала імпульсну кодову сигналізацію кабіни, що задавала одну з п'яти можливих швидкостей руху поїзду, а бортове автоведення забезпечувало максимальне прискорення або гальмування для досягнення необхідної швидкості [5; 25]. Спочатку перевезення на лінії були дещо некомфортними для пасажирів, які не мали можливості їхати сидячи, оскільки для набору або скидання швидкості відбувались різкі рушання або гальмування і пасажири могли травмуватися. Однак на сьогодні система вже

доопрацьована і здійснення пасажирських перевезень на цій лінії є комфортним завдяки САУРП.

Після відкриття першої повністю автоматизованої лінії в метрополітені США їх подальший розвиток в країні набрав шалених обертів. Так за період 1969-1977 в країні було побудовано близько 10 аналогічних ліній в різних куточках.

У 1977 р. активне впровадження САУРП відбулось в Канаді. При чому варто відзначити, що таке впровадження здійснювалось галопуючими темпами: за рік реалізована повна автоматизація ліній (зелена, помаранчева, синя) в Монреалі, а також була побудована нова автоматизована жовта лінія [35]. Такий швидкий розвиток в країні був обумовлений тим, що за 10 років до цього, у 1967 р. спеціально для Всесвітньої виставки Ехро 67 була побудована перша повністю автоматизована система автоматичного управління рухом поїздів, заснована на рейкових ланцюгах звукових частот [26]. Після виставки лінія була розібрана, але її технологічна архітектура послугувала подальшому розвитку технологій для впровадження САУРП на існуючих лініях.

Ще більш швидкими темпами відбувалось впровадження САУРП в Китаї. Так, станом на кінець 1979 року всі лінії метрополітену, що побудовані оператором залізничної системи Гонконгу «MTR Corporation», яка була заснована у 1975 році, оснащені САУРП високого рівня автоматизації [4].

Починаючи з 1980 року впровадження САУРП, а також побудова з нуля повністю автоматизованих ліній метрополітену набирає значних обертів в світі. Так, у цьому році у метрополітені Ванкувера відбулось впровадження САУРП на основі кабельної петлі із функціями автозахисту руху поїзду, автоведення та автоматичного дистанційного керування поїздом, а у Глазго відкрилась повністю автоматизована лінія метрополітену [1].

У Франції у 1983 році відкрилась повністю автоматизована лінія для легкого метро на базі пневматичного шинного руху в м.Лілль, а у 1987 році на 14-ій Паризькій лінії (Meteor) відбулось впровадження САУРП на основі кабельної петлі між рейками для важких поїздів метрополітену [1].

Подальший розвиток САУРП як за кількістю ліній, на яких такі системи було впроваджено, так і за безпосереднім механізмом і елементами впровадження відбувався з великою швидкістю. Їх розповсюдження здійснювалось на основі переймання досвіду сусідніх країн, або ж купівлі відповідних технологій.

Інтенсифікація пасажирських перевезень усіма видами транспорту, а також впровадження на цій основі новітніх технологій призвело до необхідності певної стандартизації технічних умов перевезень. Не виключенням стали САУРП, які активно впроваджувались на лініях різних країн світу. Таку уніфіковану систему стандартів вперше було розроблено Міжнародним союзом громадського транспорту (МСГТ) у 2006 році. Документ мав назву Міжнародному стандарту МЕК 62290-1:2006 «Залізниця - Системи оперативного управління і контролю міським транспортом (СОУКМП) - Частина 1. Принципи і фундаментальні концепції побудови системи» (IEC 62290-1: 2006 «Railway applications - Urban guided transport management and command (UGTMC) / control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts») [35; 36; 37]. Цей стандарт визначав функціональні, системні та інтерфейсні вимоги до систем управління і контролю, призначених для використання на міських, керованих транспортних пасажирських лініях і мережах [36].

У 2014 році відбувся перегляд умов та стандартів відповідно до умов сьогодення. Стандарти 2006 року втратили чинність і були представлені у редакції: Міжнародні стандарти МЕК 62290-1:2014 «Залізниця - Системи оперативного управління і контролю міським транспортом (СОУКМП) - Частина 1. Принципи і фундаментальні концепції побудови системи» (IEC 62290-1: 2014 «Railway applications - Urban guided transport management and command (UGTMC) / control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts») [36]. Цей документ діє і сьогодні.

Дія стандарту в рамках СОУКМП покриває широкий спектр операційних потреб, що виникають на неавтоматизованих (GoA1) та повністю автоматизованих (GoA4) системах. Головною метою цих стандартів є досягнення

сумісності та взаємозамінності САУРП на лініях метрополітену, а також розроблення рекомендацій для локальних транспортних управлінських органів різних країн, які мають намір впровадження сумісного та взаємозамінного обладнання САУРП.

Серія стандартів ІЕС 62290 призначена для підтримки програм для модернізації існуючих систем сигналізації та САУРП. У цьому випадку взаємозамінність та сумісність забезпечуються лише для додатково встановленого обладнання САУРП, а відповідальний транспортний управлінський орган (наприклад, Міністерство інфраструктури України) відповідає за перевірку можливості модернізації існуючого обладнання та рівня сумісності. Впровадження цих стандартів повинно враховувати відмінності між різними мережами, що експлуатуються в різних країнах. Ці відмінності включають експлуатаційні та нормативні вимоги, а також різні вимоги до рівня безпеки.

Стандарти МЕК 62290 містять перелік вимог СОУКМП, функції яких поділяються на обов'язкові та необов'язкові. Функції, що використовуються залежать від заданого рівня автоматизації. Виконуючи вимоги Стандартів, постачальник (підприємство, що впроваджує або модернізує САУРП) може створити одну або кілька загальних програм, що включають всі обов'язкові функції та всі або певний перелік необов'язкових функцій. Така загальна програма дозволяє досягти сумісності в межах визначених конкретних умов застосування. Використання загальної програми дій дозволяє створити конкретну програму (для певної країни або лінії) з урахуванням місцевих умов, таких як специфіка колії, методи та системи рушання тощо [35; 36].

У загальному документ Міжнародних стандартів МЕК62290-1:2014 складається з чотирьох частин [36]. Перша частина містить загальні терміни, визначення, вимоги та положення Системи оперативного управління і контролю міським транспортом (СОУКМП). Інші ж 3 частини являють собою інструкцію – три-кроковий процес досягнення стандартів МЕК62290-1:2014 (див. рисунок 1.4).

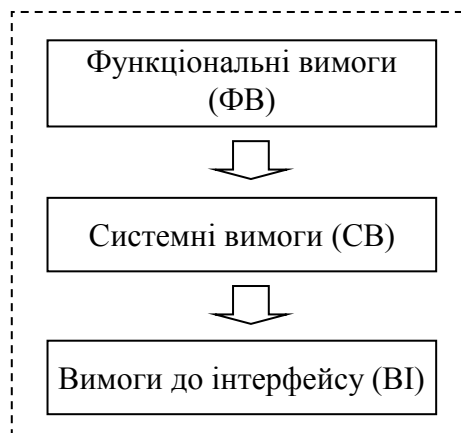


Рисунок 1.4 – Три-кроковий процес досягнення стандартів МЕК 62290-1:2014

Так, частина 2 «Функціональні вимоги» ідентифікує та визначає функції, необхідні для функціонування САУРП. Тут розрізняють два види функцій: обов’язкові функції (наприклад, виявлення поїздів на шляху або інших перешкод при русі) та додаткові функції (наприклад, інтерфейси для надання інформації про пасажирів, системи спостереження за пасажирами тощо).

Частина 3 «Системні вимоги» стосується архітектури САУРП та розподілу вимог та функцій, визначених у частині 2 відповідно до визначеної архітектури. Тобто визначається архітектуру системи САУРП з обов’язковими та необов’язковими складовими функціями.

Частина 4 «Вимоги до інтерфейсу» стосується визначення інтерфейсів, а також даних, якими вони обмінюються, для взаємодіючих та взаємозамінних складових, визначених у частині 3. Тут розглядаються логічний інтерфейс та/або фізично-логічний інтерфейс.

У загальному вимоги стандартів – це ті вимоги, які необхідні для задоволення всіх експлуатаційних потреб щодо безпечної та впорядкованої експлуатації САУРП, що вимагаються транспортними управлінським органами, без урахування технічних рішень. Обраний рівень деталізації програми і вимог дозволяє замовникам, а також локальним управлінським органам бути впевненими, що загальні програми, що постачаються різними постачальниками, охоплюватимуть принаймні ту саму функціональність, яка зазначена в стандартах

МЕК 62290-1:2014. Вимоги, встановлені цими стандартами, чітко вказуються з ідентифікаційним номером функцій, що охоплюються.

Враховуючи існування такого документу Міжнародним союзом громадського транспорту (МСГТ) визначено перелік стандартних систем для автоматизованої роботи, які на сьогодні повністю відповідають всім вимогам зазначеним у стандартах МЕК 62290-1:2014. До цих систем належать [35; 36]:

- системи Alstom;
- системи Ansaldo STS;
- системи AnsaldoBreda Driverless Metro;
- системи Bombardier;
- системи SelTrac;
- системи Siemens;
- системи VAL.

Всі вище перелічені системи є сертифікованими і загальновизнаними всіма країнами-членами МСГТ. Надання переваги тій чи іншій системі здебільшого залежить від територіального місця розташування замовників та існуючими контрактами. Однак не всі з цих систем є однаково розповсюдженими для метрополітенів, оскільки деякі з них більше спеціалізуються на залізничних вантажних і пасажирських перевезеннях (див. таблиця 1.3).

Таблиця 1.3

Стандартні системи для автоматизованої роботи метрополітенів

Система	Характеристика	Лінії, де впроваджено
Alstom	Є системою французької мультинаціональної корпорації, що працює в галузі пасажирських перевезень, систем сигналізації та локомотивів. Здебільшого спеціалізуються на розробці і впровадженні САУРП на залізницях.	Метро Будапешту, деякі лінії метрополітену США та Франції
Ansaldo STS	Є системою італійської транспортної компанії, що належить компанії Hitachi, що має глобальну присутність у галузі залізничної сигналізації та інтегрованих транспортних систем для пасажирських перевезень та вантажних перевезень. Hitachi Rail STS планує, проектує, виробляє, встановлює та вводить в експлуатацію системи сигналізації, компоненти і технології для САУРП та контролю за нещодавно побудованими або модернізованими лініями залізниць і метрополітенів в усьому світі.	Метрополітен Копенгагену, Паризьке метро, метро Риму, метро Гонконгу,

Продовження таблиці 1.3

Система	Характеристика	Лінії, де впроваджено
Ansaldo STS	Hitachi Rail STS планує, проектує, виробляє, встановлює та вводить в експлуатацію сигналізаційні системи, компоненти та високі технології для САУРП та контролю за нещодавно побудованими або модернізованими лініями залізниць і метрополітенів в усьому світі.	метро Мілана, метро Лос-Анжелісу, високошвидкісна лінія Великої Британії
Ansaldo STS	Є системою італійської транспортної компанії, що належить компанії Hitachi, що має глобальну присутність у галузі залізничної сигналізації та інтегрованих транспортних систем для пасажирських перевезень та вантажних перевезень. Hitachi Rail STS планує, проектує, виробляє, встановлює та вводить в експлуатацію сигналізаційні системи, компоненти та високі технології для САУРП та контролю за нещодавно побудованими або модернізованими лініями залізниць і метрополітенів в усьому світі.	Метрополітен Копенгагену, Паризьке метро, метро Риму, метро Гонконгу, метро Мілана, метро Лос-Анжелісу, високошвидкісна лінія Великої Британії
AnsaldoBreda Driverless Metro	Є різновидом систем тієї ж італійської транспортної компанії, що належить компанії Hitachi. Відмінною її рисою є те, що вона являє собою системи для електропоїздів, що курсують повністю без машиніста із відповідними системами сигналізації. Рухомий склад є уніфікованим: складається з 2-6 вагонів, шириною 2,67 м. Кожен поїзд має вихідну потужність 210 або 256 кіловат, що подається від третьої рейки на 750 вольт Системи повністю автоматизована і складається з підсистеми автоматичного захисту поїздів, автоматичного ведення поїздів та автоматичного нагляду за поїздом.	Лінії M1, M2, M3, M4 метрополітену Копенгагену, 5 лінія метрополітену Мілану, Лінія С метрополітену Риму, Жовта лінія метрополітену Тайпею
Bombardier	Є системою німецької компанії Bombardier Inc., яка є однією з найбільших компаній у світі у галузі виробництва та обслуговування залізничних вагонів та обладнання для поїздів. Стандартні поїзди Bombardier - це середньогабаритний повністю автоматизований поїзд без машиністів. Здебільшого спеціалізуються на побудові САУРП для залізниць. В рамках побудови САУРП для метрополітенів співпрацюють з Alstom Inc.	Лінія Вікторія в Лондоні, метро Анкари, 1,2 та 3 лінія метро Бухаресту, лінія M200 метро Хельсинки
SelTrac	Є першою комерційно впровадженою САУРП в світі, яка на момент презентації являла собою повністю автоматичну цифрову систему сигналізації рухомого блоку. Оригінальна система SelTrac базувалася на індуктивних петлях, що забезпечували канал зв'язку, а також інформацію про позицію поїзду.	SkyTrain у Ванкувері, більшість ліній метрополітенів Канади, Європи, США, Турції що побудовані у період 1987-2004 рр
Siemens	Є системою німецької мультинаціональної корпорації. САУРП для метрополітенів не є основним напрямом діяльності компанії, однак в даному напрямі компанія співпрацює із вищезазначеними системами, та акцентує увагу на інформатизації і впровадженні комп'ютерних рішень для систем.	Метро Сінгапуру,
VAL	Є повністю автоматизованою САУРП на базі пневматичного шинного руху, заснована на винаході професора Роберта Габіярда з Університету Лілля Північної Франції. Є системою для легкого метро, що складається з двох вагонів або двох пар вагонів, рух яких є повністю автоматичним і керується мікропроцесорними схемами.	Метро м.Лілля, Лінія Orlyval в Парижі, Лінії метро до аеропортів в Парижі, Тайпеї, Чикаго

Джерело: [1; 35; 36; 40]

Як можна зрозуміти з таблиці 1.3 не всі з вище перелічених корпорацій світу спеціалізуються лише на САУРП для метрополітенів, хоча і відповідають вимогам стандартів МЕК 62290-1:2014. Більшість з них лише розробляють проекти створюють та впроваджують системи на замовлення, або ж будують локомотиви і поїзди уже із вбудованими системами, що відповідають вимогам для подальшої комерціалізації (системи Alstom, Ansaldo STS, Bombardier, Siemens). У той час як системи SelTrac, AnsaldoBreda Driverless Metro та VAL є більш спеціалізованими проектами, що мають широке розповсюдження у метрополітенах світу у напрямі автоматизації.

Всі зазначені системи сьогодні працюють на мікропроцесорній елементній основі, що дозволяє на борту поїзда виконувати енергооптимальний тяговий розрахунок в режимі реального часу. Такий розрахунок створює умови для плавного рушання та гальмування. Окрім цього, використання САУРП передбачає встановлення датчиків для контролю місцезнаходження та відстані між поїздами, а також для своєчасного реагування на позаштатні ситуації, що є складовими підсистеми безпеки руху.

Таким чином, історія виникнення, впровадження та розповсюдження САУРП у метрополітені безпосередньо пов'язана із інтенсивним розвитком таких систем на залізницях. Велика кількість випробувань і гонитва за першістю призвели до швидкого впровадження САУРП у щоденну експлуатацію в таких країнах як Велика Британія, Канада, США, Франція та Китай вже у 70-80 роках минулого сторіччя. Такий інтенсивний розвиток систем призвели до необхідності стандартизації умов для їх встановлення, модифікації та експлуатації метрополітенами світу. З огляду на це у 2006 році було розроблено стандарти функціонування та технічні вимоги до САУРП, які були доповнені у 2014 році і діють сьогодні. Умови даного стандарту повинні виконувати всі країни-члени МСГТ, які мають намір впровадити САУРП незалежно від рівня автоматизації.

1.3 Показники оцінки стану пасажирських перевезень, що здійснюються на основі систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені

Функціонування метрополітенів та іншого транспорту на основі систем автоматизованого управління рухом поїздів, як і будь-якого іншого громадського транспорту, має на меті здійснення безперервних, безпечних та комфортних пасажирських перевезень. На сьогоднішній день необхідність пасажирських перевезень обумовлена потребою здійснення трудової діяльності (до місць роботи або відряджень), а також культурно-побутовими потребами (з метою прогулянок, екскурсій, туризму, відпочинку тощо) людей.

У загальному, пасажирські перевезення – це здійснення перевезення людей за допомогою різних видів транспорту, а саме: автомобільного (в т.ч. автобусного), авіаційного, залізничного, трамвайного, тролейбусного, метрополітенівського [52, с.118]. В межах великих населених пунктів і міст-мільйонників та невеликих міст і районних центрів структура пасажирських перевезень за видами громадського транспорту значно різниться: в невеликих містах та районних центрах переважають автобусні та нерегулярні автомобільні перевезення, а в столиці нашої країни та обласних центрах більшим попитом користуються метрополітенівський, трамвайний, тролейбусний та автомобільний (автобусний) види транспорту. Серед них на основі САУРП працюють лише трамваї та метрополітен.

Зважаючи на значну конкуренцію за пасажирів між міськими перевізниками, сьогодні в містах-мільйонниках перевага належить метрополітенівським перевезенням, що здійснюються із використанням САУРП, через його стабільність, масовість, високий рівень безпеки та надійності під час перевезень, оскільки сьогодні саме ці критерії стають вирішальними при виборі того чи іншого виду транспорту, що візуально можна зобразити наступним чином (див. рисунок 1.5)



Рисунок 1.5 – Елементи системи прийняття рішень при виборі виду громадського транспорту

Впровадження САУРП є як причиною так і наслідком зростаючого обсягу пасажирських перевезень, вимоги щодо здійснення яких посилюються з року в рік. За таких умов значної актуальності набувають питання нових методів оцінки стану пасажирських перевезень, що відповідали б новим вимогам, критеріям та стандартам перевезень, оскільки загальна оцінка обсягів і кількості перевезених пасажирів в динаміці не дає змогу проаналізувати ситуацію з усіх сторін.

З огляду на таку ситуацію, а також враховуючи існуючі підходи до здійснення оцінки пасажирських перевезень різними видами транспорту, вважаємо за необхідне проаналізувати та охарактеризувати показники оцінки стану пасажирських перевезень у метрополітені, що здійснюються на базі

САУРП. У більшості аналізованих джерел, що стосуються пасажирських перевезень, а також методів їх оцінки показники поділяють на кількісні (в деяких джерелах їх називають об'ємні) та якісні [14; 17; 43; 52].

Одними з ключових показників, які можна порівняти, проаналізувати та співставити є група кількісних показників. До таких показників належить [17; 43]:

- кількість перевезених пасажирів (пасажиропотік);
- пасажирооборот;
- дальність поїздки/маршруту;
- кількість рухомого складу в русі;
- пробіг рухомого складу по маршруту/лінії;
- час обороту (поїздки в одному напрямі).

В рамках оцінки стану пасажирських перевезень в метрополітені деякі з вищенаведених показників є недоречними або ж не показовими, оскільки, наприклад, дальність поїздки/маршруту є величиною заданою для окремої лінії метрополітену. Даний показник є актуальним, якщо аналізувати ситуацію з кількістю станцій, що в середньому проїзжає один пасажир за одну поїздку, однак здійснити це можливо лише за умов володіння внутрішньою статистикою метрополітену, що в умовах наявної офіційної інформації є неможливим, або ж шляхом проведення опитувань пасажирів.

Ще одним показником, який для метрополітену є заданою величиною – це час обороту, тобто час поїздки в одному напрямі. Це пояснюється тим, що пасажирські перевезення, що здійснюються із використанням САУРП, мають чіткий по-хвилинний графік руху із чітко заданим інтервалом проходження поїздів по лінії, відхилення від якого вважається збоєм у роботі системи (наприклад, запізненням чи затримкою з технічних причин), про що обов'язково попереджаються пасажири за допомогою підсистеми радіосповіщення та зв'язку з пасажирами (ПсРЗП).

Що стосується інших кількісних показників, то вони є більш доречними в рамках даного дослідження, а їх аналіз варто здійснювати в динаміці та

порівнянні (наприклад, в розрізі ліній метрополітену), що, в свою чергу дозволяє виявляти фактори впливу на ситуацію, що склалася. Так, першим загальним показником є кількість перевезених пасажирів, або ж пасажиропотік, що розраховується наступним чином [17; 43]:

$$\sum Q_A = Q_{A1} + Q_{A2} + \dots + Q_{An}, \quad (1.1)$$

де, $\sum Q_A$ – загальний пасажиропотік по лінії А, пас;

Q_{A1}, Q_{A2}, Q_{An} – окремі пасажиропотоки на ділянках l_1, l_2, l_n лінії А, пас.

Наступним показником, що демонструє обсяг перевезених пасажирів є пасажирооборот. Пасажирооборот – це показник, який демонструє перевізну роботу окремих ділянок чи ліній і вимірюється в пасажиро-кілометрах, розраховується за формулою [17; 43]:

$$\sum \Pi = \sum Q_{An} * l_{An} \quad (1.2)$$

де, $\sum \Pi$ – загальний пасажирооборот, пас.км;

Q_{An} – пасажиропотік на ділянках l_n лінії А, пас;

l_{An} – загальна протяжність ділянки n на лінії А, км.

Показником, що демонструє перевізну роботу рухомого складу є показник пробігу рухомого складу по маршруту/лінії, який розраховується за формулою [17; 43]:

$$\sum NL = \sum N_{An} * l_{An} \quad (1.3)$$

де, $\sum NL$ – пробігу рухомого складу по маршруту/лінії, поїздо-км;

N_{An} – кількість поїздів, що рухаються по лінії А, поїздів;

l_{An} – загальна протяжність ділянки n на лінії А, км.

Цей показник являє собою сукупну відстань, яку проходять пасажирські вагони, включаючи головні (із пультом управління) і проміжні вагони.

Наступною групою показників, яким на сьогодні приділяють значну увагу як у вітчизняній літературі, так і за кордоном є якісні показники. Так, наприклад, в Європі та США вже досить тривалий час питання оцінки якості пасажирських перевезень є першочерговим, а для його вирішення на обох континентах було випущено керівництво із проведення дослідження якості перевезень у громадському транспорті. В них наведений детальний опис концептуального апарату, критеріїв оцінювання, а також загальні питання методичного характеру.

Так, у 1999 році була розроблена методологія США, згідно з якою якість пасажирських перевезень оцінюється як результат співвідношення поточного рівня перевезень із очікуваним [2]. Згідно з методологічним керівництвом з оцінки сприйняття послуг громадського транспорту, виділяються детермінанти, за якими оцінюється якість сервісу, а саме:

- сталість роботи і надійність.
- готовність і здатність обслуговуючого персоналу до надання послуг та їх своєчасність.
- володіння необхідними навичками та вміннями при здійсненні пасажирських перевезень.
- легкість контакту.
- ввічливість і доброзичливість в спілкуванні.
- інформованість.
- знання запитів та вимог пасажирів і активне прагнення до їх задоволення.
- безпека.
- розуміння потреб пасажирів.
- подання інформації про сервіс і зручність інфраструктури.

Оцінка якості пасажирських перевезень в американській практиці концентрується на специфічно-комунікативній стороні, умовно виокремлюючи експлуатаційні характеристики в окрему категорію [2]. Оцінювання здійснюється

шляхом опитування на зупинках або в салонах рухомого складу, при цьому передбачається надання респондентам можливості самостійно визначити критерії якості в процесі проведення серії фокус груп. Пасажирів просять описати ідеальний громадський транспорт, а потім визначають різницю між виявленими і поточними твердженнями. Виділяється певний перелік показників в рамках детермінант, окреслених вище, кожен з яких оцінюється за шкалою від 1 до 10, де одиниці відповідає мінімальний рівень задоволеності, а 10 – максимальний [2].

В результаті застосування інструментарію кількісних методик, що у цілому може являти собою значну за своїми розмірами анкету, опитування не вичерпується єдиним блоком і складається з наступних розділів: загальна задоволеність; важливість кожного критерію; задоволеність кожним критерієм; проблеми, з якими довелося зіткнутися в останній місяць; споживчо-пасажирська лояльність; градація критеріїв перевезення, які вимагають поліпшення; транспортна поведінка і соціально-демографічні характеристики [2]. Останнє оновлення методології відбулось у 2013 році і являло собою доповнення кількості питань та критеріїв в анкеті.

У 2002 році в країнах ЄС був проваджений європейський стандарт оцінки якості, методика якого має назву «петля якості» (див. рисунок 1.6) [31].

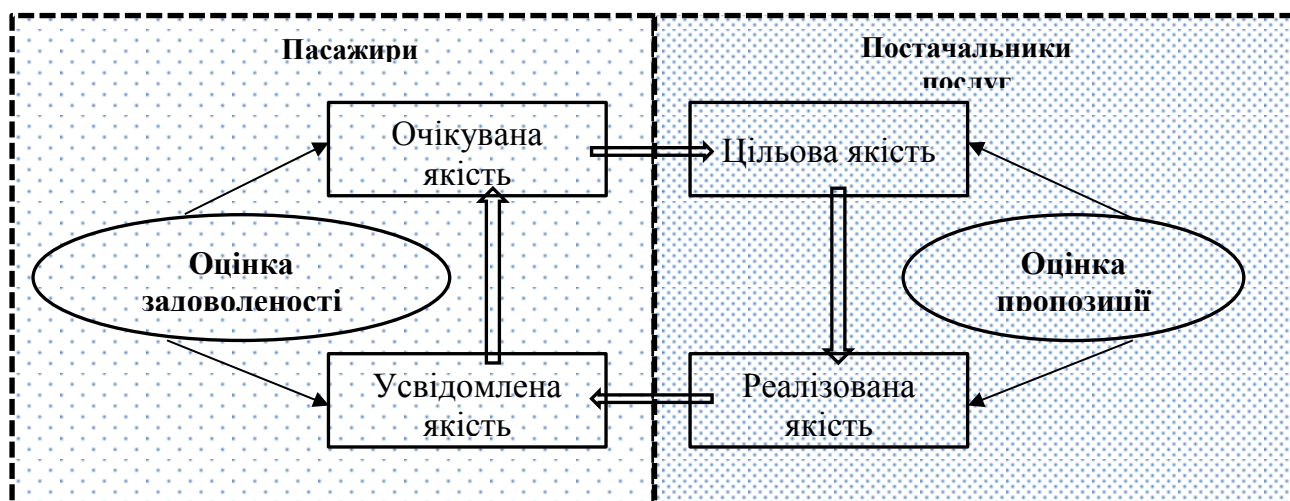


Рисунок 1.6 – Європейський стандарт оцінки якості, методика «петля якості»

[31]

Він має деякі схожі риси із американським підходом в рамках оцінювання очікуваних і отриманих результатів і в той же час має свої особливості. Так, за європейським стандартом, змінні, що знаходяться в прямокутниках, можуть бути виміряні, а різниця між очікуваними і отримуваними послугами є оцінкою результатів визначення якості пасажирських перевезень.

Перелік показників якості включає в себе 106 складових, що стосуються багатьох аспектів роботи громадського транспорту і згруповані за такими характеристиками: наявність, доступність, інформативність, час, піклування про пасажирів, комфорт, безпека та екологія. А для вимірювання показників за переліченими характеристиками використовується 3 методики: 1) дослідження задоволеності пасажирів кількісним методом; 2) методика «Таємного покупця»; 3) оцінка експлуатаційних та топологічних характеристик системи громадського транспорту [31]. У загальному європейський підхід заснований на порівнянні оцінок пасажирів, які акумулюються методом опитування, і вимірюванні безпосередньої роботи транспортної системи, що здійснюється із застосуванням GPS та інших систем для визначення зони покриття, дотримання розкладу, тестування персоналу рухомого складу тощо.

Що стосується вітчизняної практики оцінювання якості пасажирських перевезень, що здійснюються на базі САУРП, то сьогодні так само існує ряд критеріїв за якими здійснюється таке оцінювання. Варто додати, що оцінка деяких критеріїв здійснюється виходячи з нормативів ДБН 360-92 «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» [27]. Так, до ключових критеріїв оцінювання якості пасажирських перевезень в нашій країні належить:

- нормативне/очікуване та фактичне перебування в дорозі. Раніше, до 1992 року, цей показник мав нормативи згідно ДБН і не повинен був перевищувати 30-45 хвилин. Однак із розвитком містобудування і значної заселеності великих міст такий норматив став недосяжним і тому сьогодні цей показник оцінюється шляхом порівняння фактичного часу в дорозі із очікуваним.

- нормативний та фактичний коефіцієнт наповненості рухомого складу. Цей показник і досі має нормативне значення. Згідно ДБН 360-92 для метрополітенів «комфортною» прийнято вважати наповненість 3 люд./кв.м (у години пік 4,5 люд./кв.м) [27; 37].
- регулярність руху. Даний показник оцінюється шляхом аналізу дотримання графіків руху метрополітену.
- безпека руху. У вітчизняній практиці вимірюється кількістю нещасних випадків на млн..км.
- комфорт. Визначається зручністю посадочно-висадочних пристроїв (розташування і число ескалаторів, сходів, зручні поручнів тощо), якістю сидінь, поручнів і покриття підлоги в салоні, вентиляцією і мікрокліматом, освітленістю, рівнем внутрішнього шуму і вібрацій, прискореннями при русі, наявністю додаткового обладнання. Всі ці показники так само регулюються ДБН 360-92 [27].
- вартість перевезення. Якщо раніше вартість послуг у громадському транспорті різнилась, то наразі незрозуміло яким чином оцінювати даний показник, якщо вартість встановлюється Комісією з тарифів і сьогодні діє в єдиній вартісній площині в м. Київ.
- надійність роботи рухомого складу. Розраховується як відсоток збоїв, або ж кількості потягів, що не вийшли на маршрут з технічних причин до загальної кількості потягів [17; 43].
- інформаційне забезпечення. Відносно новий критерій, який з'явився із розвитком мережі Інтернет, а саме додатків, які дозволяють відслідковувати рух в онлайн-режимі, бути в курсі аварійних ситуацій та форс-мажорних обставин.

Узагальнюючи вищесказане, можна зробити висновок, що вітчизняний підхід щодо якісної оцінки стану пасажирських перевезень у метрополітені, що здійснюються на основі САУРП, не дає змогу повноцінно оцінити якість таких перевезень, оскільки за таким підходом знаходження показників в межах

нормативів, які були розроблені ще у 80-их роках і на сьогодні зазнали лише незначних змін, на нашу думку не є показником якості, особливо що стосується умов комфорту і безпеки руху. Вважаємо, що переймання закордонного досвіду щодо використання методів анкетування на регулярній основі, було б доречним доповненням існуючого підходу та дало б змогу побачити реальне оцінювання перевезень з боку пасажирів – реальних користувачів послуг.

З огляду на вищезазначене та в рамках даного дослідження щодо оцінки пасажирських перевезень у метрополітені, що здійснюється на основі САУРП, для здійснення оцінки стану таких перевезень вважаємо за необхідне виділити такий критерій як навантаження, оскільки у більшості країн світу і нашої в тому числі, впровадження САУРП відбувалось саме з метою контролю цього критерію із одночасним збереженням і підвищенням рівня продуктивності (див. рисунок 1.7).

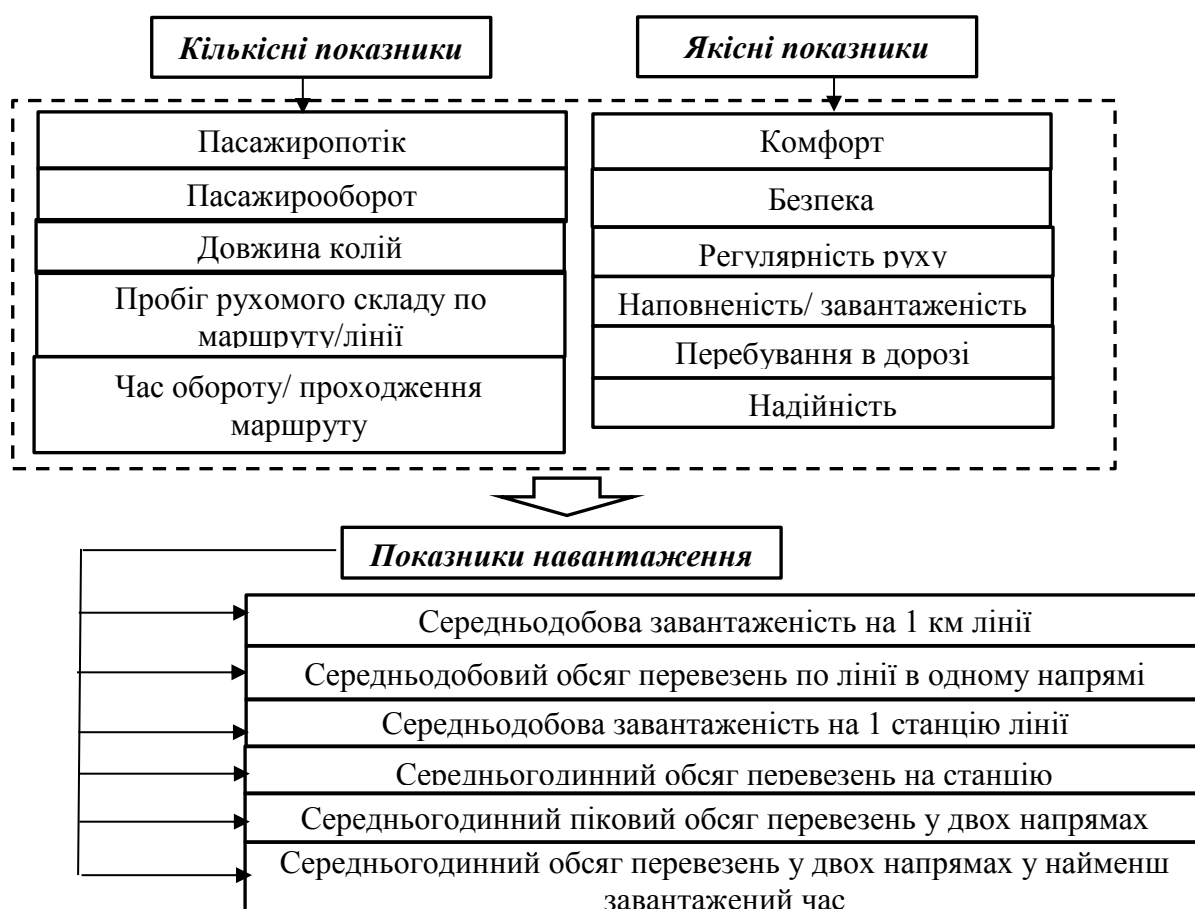


Рисунок 1.7 – Взаємозв’язок кількісних, якісних та показників навантаження при оцінці пасажирських перевезень у метрополітені

Так, наприклад, показник пасажиропотоку, а також показники комфорту та завантаженості при поєднанні можуть перетворитися на показник середньодобової завантаженості станції; показники пасажиропотоку та довжини колій, а також регулярності та надійності – на показники середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках або середньогодинного обсягу перевезень у двох напрямках у найменш завантажений час.

Джерелом даних для розрахунку показників навантаження можуть бути офіційні дані метрополітенів, що публікуються на сайтах і є в загальному доступі; дані міських та державних служб статистики, що висвітлюють дані щодо діяльності громадського транспорту в різних ракурсах, а також внутрішні дані комунальних підприємств - метрополітенів, що можуть бути отримані під час проходження виробничих та переддипломних практик студентами.

З огляду на це, можемо констатувати, що більшість даних є загальними (за рік, півріччя), а отже для адекватності співставлення та справедливої оцінки дані показники варто розраховувати за методом усереднених значень (за періодом, за одиницею протяжності, за дільничними одиницями лінії тощо). Формули для розрахунку показників навантаження пропонуємо розглянути у наступній редакції (див. таблиця 1.4).

Таблиця 1.4

Характеристика показників навантаження, що застосовуються для оцінки стану пасажирських перевезень у метрополітені

Показник	Характеристика	Формула для розрахунку
Середньодобова завантаженість на 1 км лінії, тис.пас/км ($Q_{лсер}$)	Являє собою кількість пасажирів, що в середньому перевозиться щодня у розрахунку на 1 км лінії метрополітену	$Q_{лсер} = (Q_A / l_n) / 365$ (366); де, Q_A – пасажиропотік на лінії А, пас; l_n – загальна протяжність лінії, км; 365 (366) – кількість днів в році.
Середньодобовий обсяг перевезень по лінії в одному напрямі, тис.пас./доба ($Q_{сл}$)	Являє собою кількість пасажирів, що в середньому перевозиться щодня в одному напрямі на лінії	$Q_{сл} = Q_{лсер} * l_n$; де, $Q_{лсер}$ – середньодобова завантаженість на 1 км лінії, тис.пас/км ; l_n – загальна протяжність лінії, км;

Продовження таблиці 1.4

Показник	Характеристика	Формула для розрахунку
Середньодобова завантаженість на 1 станцію лінії, тис.пас ($Q_{ссер}$)	Являє собою кількість пасажирів, що в середньому перевозиться щодня у розрахунку на 1 станцію метрополітену	$Q_{ссер} = (Q_A / N_c) / 365$ (366); де, Q_A – пасажиропотік на лінії А, пас; N_c – кількість станцій на лінії, шт; 365 (366) – кількість днів в році.
Середньогодинний обсяг перевезень у двох напрямках, тис.пас/год ($Q_{Гсер}$)	Являє собою кількість пасажирів, що в середньому перевозиться щогодини у двох напрямках	$Q_{Гсер} = (Q_{лсер} / 18) * 2$; де, $Q_{лсер}$ – середньодобовий обсяг перевезень по лінії в одному напрямі, тис.пас./доба; 18 – кількість повних годин роботи метрополітену, год;
Середньогодинний обсяг перевезень на станцію, тис.пас/год ($Q_{Гссер}$)	Являє собою кількість пасажирів, що в середньому перевозиться щогодини у розрахунку на 1 станцію метрополітену	$Q_{Гссер} = Q_{ссер} / 18$; де, $Q_{ссер}$ – середньодобова завантаженість на 1 станцію лінії, тис.пас; 18 – кількість повних годин роботи метрополітену, год;
Середньогодинний піковий обсяг перевезень у двох напрямках, тис.пас/год ($Q_{Пmax}$)	Являє собою кількість пасажирів, що в середньому перевозиться за годину у години пік. З урахуванням годин пік з 07.00 до 10.00 і з 16.00 до 19.00 у містах-мільйонниках	$Q_{Пmax} = Q_{Гсер} * k_{imax}$; де, $Q_{Гсер}$ – середньогодинний обсяг перевезень у двох напрямках, тис.пас/год; k_{imax} – коефіцієнт коригування середньогодинного обсягу перевезень у двох напрямках у години пік.
Середньогодинний обсяг перевезень у двох напрямках у найменш завантажений час, тис.пас/год ($Q_{Пmin}$)	Являє собою кількість пасажирів, що в середньому перевозиться за годину у найменш завантажені години. З урахуванням таких годин з 06.00 до 07.00 і з 20.00 до 24.00 у містах-мільйонниках	$Q_{Пmin} = Q_{Гсер} * k_{imin}$; де, $Q_{Гсер}$ – середньогодинний обсяг перевезень у двох напрямках, тис.пас/год; k_{imin} – коефіцієнт коригування середньогодинного обсягу перевезень у двох напрямках у найменш завантажені години.

Джерело: складено автором

Серед вищенаведених показників особливу увагу слід приділити показникам, що демонструють середньогодинний обсяг перевезень у години пік і найменш завантажений час, оскільки тут використовуються коефіцієнти коригування. У загальному такі коефіцієнти нерівномірності розподілу пасажиропотоків за часом та напрямками уточнюються шляхом наочних

спостережень і досліджень пасажирських потоків за певний проміжок часу. За інших умов дані коефіцієнти можуть бути визначені шляхом прорахунку та порівняння кількості поїздів, що виходять на маршрут у різні години у робочі та вихідні дні із середньогодинним значенням за добу. І хоча даний метод не враховує точної кількості пасажирів, що користуються метрополітеном у зазначені години, однак ми можемо розуміти, що існуючий графік руху наразі враховує максимальний/мінімальний пасажиропотік у такі години.

Стосовно коефіцієнту нерівномірності пасажиропотоку у години пік звернемося до ДБН В.2.3-7: 2018 (Метрополітен. Основні положення). Згідно нормативу $k_{imax} = 1,4$ [37]. Коефіцієнт коригування для найменш завантажених годин на основі розрахунків по методу викладеному вище будемо приймати на рівні $k_{imin} = 0,49$. Коефіцієнту будуть враховані у розрахунках у Розділі 2.

Так, показники навантаження можуть бути використані в подальшому для прийняття управлінських рішень щодо необхідності випуску додаткових поїздів на лінію або ж навпаки їх зменшення, а за наявності додаткової інформації дані показники можуть бути використані для перегляду графіків руху. У цілому ж дані показники поряд із іншими кількісними та якісними показниками дають змогу оцінити та порівняти завантаженість ліній метрополітені у порівнянні, а також зрозуміти чи потрібне подальше підвищення рівня автоматизації САУРП в умовах зростаючого навантаження.

Висновок до розділу 1. Системи автоматизованого управління рухом поїздів (САУРП) в умовах сьогодення є відповіддю на неймовірно зростаюче навантаження на роботу метрополітенів світу та підвищення рівня вимог до пасажирських перевезень. Аналіз останніх досліджень та публікацій дав змогу зробити висновок, що у цілому науковці і дослідники мають спільну думку щодо сутності даного явища, а також підходів щодо його класифікації, які у загальному зводяться до того, що головним критерієм до класифікації є рівень автоматизації

САУРП, а інші існуючі підходи враховують окремі специфіки процесів їх впровадження (апаратні особливості реалізації, типи поїзду тощо).

Процес виникнення, становлення та розповсюдження САУРП можна охарактеризувати як швидке та динамічне явище, що має тенденцію розвитку у геометричній прогресії. Розвиток САУРП у метрополітені безпосередньо пов'язаний із розвитком САУРП на залізничному транспорті, особливо у 70-80 роки минулого сторіччя, що пов'язано із швидким і масштабним містобудуванням в багатьох країнах світу. За таких умов, хаотичний та дещо нерівномірний розвиток САУРП у метрополітенах світу зумовив необхідність стандартизації вимог та технологічних рішень щодо таких систем і у 2006 році (із подальшим доопрацюванням у 2014 році) було прийнято Міжнародні стандарти МЕК 62290, яких повинні дотримуватись всі країни-члени Міжнародного союзу громадського транспорту (МСГТ), які мають намір впроваджувати або модифікувати існуючі САУРП для своїх метрополітенів.

Аналіз великої кількості досліджень та публікацій дав змогу виявити тенденцію до зростаючого рівня вимог та стандартів до пасажирських перевезень у метрополітенах, що здійснюються на основі САУРП. Така зміна вимог, вподобань та критеріїв оцінки пасажирських перевезень вимагають подальших змін підходів щодо оцінки їх стану, перегляду існуючих підходів до здійснення кількісної і особливо якісної оцінки, оскільки вітчизняна практика є застарілою, а якісна складова оцінки зводиться до виконання вимог нормативів ДБН 360-92, які були розроблені ще у 80-их роках і з деякою редакцією діють і сьогодні. Запропоновано підхід до виокремлення групи показників навантаження, які дозволяють здійснити кількісно-якісний аналіз стану пасажирських перевезень у метрополітені на основі САУРП, оскільки саме критерій завантаженості був ключовим при прийнятті рішень щодо впровадження таких систем. Використання даної групи показників у майбутньому може стати передумовою для прийняття рішень щодо подальшої модернізації САУРП, підвищення рівня її технологічності та автоматизації.

2 ОЦІНКА СТАНУ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У КП «КИЇВСЬКИЙ МЕТРОПОЛІТЕН»

2.1 Аналіз діяльності КП «Київський метрополітен»

КП «Київський метрополітен» є одним з найбільших підприємств України, яке упродовж майже 60 років забезпечує робочими місцями тисячі робітників та обслуговує більш ніж 1,7 мільйонний щоденний пасажиропотік людей м.Києва. Загальна довжина колій Київського метрополітену на сьогодні складає 67,6 кілометрів і загалом поділена на 3 лінії, що налічують 52 діючих станції, платформи яких розраховані на п'ятивагонні поїзди. Для зручності пасажирів та загальної зв'язності ці 3 лінії у центрі міста мають три пересадочні вузли, що дозволяє жителям та гостям міста дістатись до необхідного їм місця зручно та комфортно, не витрачаючи час на простой в міських заторах та пошук маршрутів наземного транспорту.

КП «Київський метрополітен» належить до комунальної власності територіальної громади м. Києва на підставі розпоряджень Кабінету Міністрів України від 30.06.1998 №464-Р та Київської міської державної адміністрації від 28.10.1998 № 2155 «Про зарахування майна державного підприємства у комунальну власність територіальної громади м. Києва» і підпорядковано Департаменту транспортної інфраструктури виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації) [32; 34].

Основною метою діяльності КП «Київський метрополітен», як визначено в Статуті підприємства, є перевезення пасажирів. І над досягненням цієї мети працює більш ніж 8000 працівників, які щодня виконують свої обов'язки в рамках розгалуженої організаційної структури, яка включає в себе такі підрозділи: служба руху; комерційна служба; електродепо «Дарниця»; електродепо «Оболонь»; електродепо «Харківське»; служба колії, тунельних споруд і будівель; служба сигналізації; служба інформаційних технологій та зв'язку; служба

електропостачання; електромеханічна служба; ескалаторна служба; вагоноремонтний завод; служба матеріально-технічного постачання; служба соціального забезпечення; служба воєнізованої охорони; дирекція будівництва метрополітену; адміністрація метрополітену (див. Додаток А).

Окрім досягнення своєї безпосередньої мети функціонування КП «Київський метрополітен» значні зусилля прикладає для підвищення відповідальності в екологічному аспекті. Так, з метою проведення ефективної і цілеспрямованої діяльності з охорони навколишнього природного середовища, належного використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, запобігання негативному впливу діяльності підприємства на навколишнє природне середовище у 2017 році затверджено Положення про систему екологічного управління КП «Київський метрополітен» [34].

Сьогодні на підприємстві функціонує система екологічного управління (СЕУ) з дотриманням вимог чинного законодавства, ДСТУ ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT) та інших нормативних документів у сфері екологічного менеджменту. Дія СЕУ поширюється на діяльність всіх виробничих структурних підрозділів підприємства з урахуванням їх специфіки та управлінських зв'язків, що існують. Ця система охоплює дії, продукцію, послуги чи засоби, які стосуються екологічних аспектів. Кожного року для досягнення цілей і завдань СЕУ, визначених з урахуванням вимог Законів України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про охорону атмосферного повітря», «Про відходи», Водного кодексу України, Кодексу України про надра та інших законодавчих і підзаконних нормативно-правових актів України, на підприємстві розробляється, затверджується та вводиться в дію головний документ СЕУ – Програма заходів з питань охорони навколишнього природного середовища (Програма заходів) [34]. Витрати на реалізацію заходів щодо дотримання правил в рамках Програми заходів щодо дотримання ключових екологічних аспектів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Витрати на реалізацію заходів з питань охорони навколишнього середовища у
2017-2019 рр., тис.грн.

№	Основні розділи програми	2017	2018	2019
1	Охорона атмосферного повітря	59,72	152,29	92,97
2	Охорона водних ресурсів	2627,48	1254,10	887,60
3	Поводження з відходами виробництва та споживання	1204,31	1403,31	4014,64
4	Інші заходи	88,58	101,03	1094,58
5	Разом	3980,09	2910,73	6089,79

Джерело: [32; 34]

Як можна побачити у таблиці 2.1, найбільшу вагу у витратах на реалізацію заходів з питань охорони навколишнього середовища мають витрати на поводження з відходами виробництва та споживання. Так їх частка у 2019 році склала 65,92% від загального обсягу витрат, а їх розмір щороку зростає: на 16,5% у 2018 році, та на 186% у 2019 році.

У цілому, метрополітен є екологічно чистим видом міського громадського транспорту, що працює виключно за рахунок споживання електроенергії для тяги поїздів. Завдяки реалізації у попередні роки проектів з комплексної модернізації вагонів типу «Е» та їх модифікації з впровадженням асинхронного тягового приводу на КП «Київський метрополітен» (135 вагонів) викиди парникових газів (CO₂) протягом 2018-2019 року скоротились на 13 102,00т. та 11 401,00т. відповідно за рахунок зменшення споживання електроенергії на тягу [34].

КП «Київський метрополітен» також здійснює активний перехід на енергозберігаючі освітлювальні прилади для освітлення салонів у вагонах поїзду, регулярно відбувається заміна люмінесцентних ламп на світлодіодні модулі, що розміщуються на платформах та вестибюлях.

У сучасному світі одним з найважливіших показників функціонування будь-якого підприємства є його ефективність. З цією метою необхідно провести техніко-економічний аналіз ключових показників результативності діяльності КП «Київський метрополітен».

Так, за даними звітності у 2019 році загальний дохід КП «Київський метрополітен» склав 4 375,9 млн.грн., що на 1 027,17 млн.грн більше ніж у 2018 році. Основним джерелом доходу підприємства є пасажирські перевезення, однак ще є і додаткові джерела, такі як: доходи від надання площ в оренду, асигнування з бюджету, від державних грантів в сумі нарахованої амортизації та інші (див. таблиця 2.2). Варто зазначити, що підприємство не отримує дохід від реклами, розміщеної та території станцій підприємства.

Таблиця 2.2

Структура доходів та витрат КП «Київський метрополітен», млн.грн.

Стаття доходів/витрат	2017	2018	2019
Дохід, в т.ч.:	2 544,6	3 348,7	4 375,9
- дохід від пасажирських перевезень	1 568,4	2 181,9	2 608,0
- дохід від надання площ в оренду	18,3	20,4	28,9
- асигнування з місцевого бюджету	704,8	775,3	1 247,1
- інші доходи	253,1	371,1	391,9
Витрати, в т.ч.:	4 321,50	3 235,6	4 821,9
- витрат на оплату праці з відрахуваннями на соціальні заходи	1 158,2	1 633,9	1 996,3
- матеріальні витрати	570,4	740,9	781,1
- амортизація	531,5	611,5	1 817,9
- інші витрати	2 061,4	249,3	226,6
Середній дохід від перевезення 1-го загальнооблікового пасажира, грн	4,41	5,54	7,73

Джерело: складено автором за даними [34]

За досліджуваний період КП «Київський метрополітен» лише у 2018 році закінчив фінансовий рік з прибутком, тоді як інші роки за даними звітності підприємств є збитковими. Як видно з таблиці 2.2 у 2017 році витрати підприємства значно переважали над доходами. Ключовою причиною такої ситуації є те, що у 2017 році підприємство понесло витрати на виконання рішення Господарського суду м. Києва та постанови Київського апеляційного господарського суду щодо стягнення заборгованості з КП «Київський метрополітен» за договором на фінансові лізингові послуги (вагони метрополітену) [33]. Таким чином, у структурі витрат за цей рік переважали

фінансові та інші витрати, тоді як у 2018-2019 р.р. переважають витрати на оплату праці з відрахуваннями на соціальні заходи та амортизація.

Окрім підрахунку загальних доходів та витрат підприємство щорічно розраховує показник середнього доходу від перевезення 1-го загально облікового пасажиру в умовах діючого тарифу з урахуванням знижок на проїзних квитках та наявністю пільгових категорій пасажирів. Так, за період 2017-2019 цей показник зріс з 4,41 грн у 2017 році до 7,73 грн. у 2019 р.

В рамках здійснення техніко-економічного аналізу діяльності підприємства варто також дослідити показники ліквідності його діяльності, тобто оцінити чи в змозі підприємство погашати свої поточні зобов'язання у повному обсязі і за допомогою яких активів (див. таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Аналіз ліквідності КП «Київський метрополітен»

Показник ліквідності	31.12.2017	31.12.2018	31.12.2019
Коефіцієнт загальної (поточної) ліквідності	0,54	0,12	0,17
Коефіцієнт швидкої ліквідності	0,41	0,07	0,11
Коефіцієнт абсолютної ліквідності	0,14	0,02	0,04

Джерело: складено автором за даними [34]

Коефіцієнт загальної (поточної) ліквідності дає загальну оцінку ліквідності активів, показуючи, яку частку поточних зобов'язань підприємство спроможне погасити, якщо воно реалізує усі свої оборотні активи, в тому числі і матеріальні запаси [24]. Оскільки оптимальне значення для даного показника знаходиться в межах 1-2, то за даними таблиці 2.3 можна зробити висновок, що КП «Київський метрополітен» не вистачає оборотних активів для покриття своїх поточних зобов'язань протягом усього досліджуваного періоду.

Коефіцієнт швидкої ліквідності дозволяє оцінити здатність підприємства вчасно погасити свої поточні зобов'язання з допомогою високоліквідних активів [24]. Даний показник також набагато нижчий за нормативні значення (0,6-1), що свідчить про неспроможність КП «Київський метрополітен» покрити поточні

зобов'язання за рахунок високоліквідних активів, таких як: грошові кошти, фінансові інвестиції, дебіторська заборгованість.

Коефіцієнт абсолютної ліквідності демонструє частку поточних зобов'язань підприємства, яка може бути погашена негайно за допомогою наявних грошовий коштів та короткострокових фінансових інвестицій [24]. Нормативні межі показника - 0,2-0,35. Звідси, можемо сказати про те, що КП «Київський метрополітен» не зможе вчасно погасити борги у випадку, якщо термін платежів настане незабаром. Для всіх трьох показників найнижче значення було станом на кінець 2018 року, а найбільш наближені до оптимального були показники у 2017 році.

Наступним кроком в аналізі техніко-економічних показників діяльності підприємства є оцінка його майнового стану, оскільки його структура та величина значно впливають на рівень платоспроможності за загальну фінансову стійкість підприємства. Джерелом інформації для такого аналізу є баланс КП «Київський метрополітен», а оцінка майнового стану являє собою дослідження наявних активів (а точніше їх використання) на підприємстві та джерел їх формування (див. таблиця 2.4).

Таблиця 2.4

Аналіз майнового стану КП «Київський метрополітен»

Показник	2017	2018	2019	Абсолютне відхилення	
				2018/2017	2019/2018
Коефіцієнт зносу основних засобів	0,53	0,44	0,32	-0,08	-0,13
Коефіцієнт придатності	0,47	0,55	0,68	0,08	0,13
Коефіцієнт оновлення	0,004	0,008	0,003	0,0045	-0,0056
Коефіцієнт вибуття	0,0004	0,0002	0,0004	-0,0002	0,0002
Коефіцієнт приросту	0,003	0,008	0,002	0,0048	-0,0059

Джерело: складено автором за даними [34]

Частка вартості основних засобів (ОЗ), яку списано на витрати виробництва, тобто коефіцієнт зносу основних засобів, за період 2018-2019 рр. знаходиться в нормативному діапазоні (менше 0,5), тоді як у 2017 році значення аналізованого

показника було вище 0,5, тобто більш ніж 50% вартості основних засобів у цьому році було зношено.

Коефіцієнт зносу основних засобів доцільно розглядати з коефіцієнтом придатності основних засобів, оскільки якщо скласти значення розрахованих показників за рік повинна вийти 1. Тобто зазначені показники є взаємопов'язані і, відповідно, якщо позитивною динамікою показника зносу є тенденція до зниження, то для коефіцієнта придатності позитивною динамікою є тенденція до зростання, що і простежується у таблиці 2.4.

Коефіцієнт оновлення основних засобів характеризує частку введених нових основних засобів у загальній вартості основних засобів і визначається як відношення вартості введених в експлуатацію нових основних засобів до балансової вартості основних засобів [53]. Даний показник також варто аналізувати в динаміці і позитивною є тенденція до збільшення, однак така тенденція була лише протягом 2017-2018 рр, тоді як у 2019 році значення показника знизилось, що означає зменшення вартості введених нових засобів в експлуатація порівняно із балансовою вартістю основних засобів.

Коефіцієнт вибуття основних засобів показує частку виведених з експлуатації основних засобів у балансовій вартості основних засобів [53]. Даний показник варто аналізувати разом із попереднім, оскільки позитивною для нього ситуація, коли він є значно меншим за попередній показник у динаміці. Саме таку ситуація можна спостерігати протягом 2017-2019 рр.

Коефіцієнт приросту основних засобів показує рівень збільшення (зменшення) основних засобів внаслідок введення нових основних засобів та виведення з експлуатації зношених чи застарілих основних засобів [53]. Позитивною є динаміка до збільшення, однак як видно з таблиці 2.4 показник зростає лише у 2018 р. порівняно з 2017 р. (на 0,0048), тоді як у 2019 р коефіцієнт приросту знизився на 0,0059 порівняно із 2018 роком, що свідчить про те що нових ОЗ прибуло значно менше порівняно із тим скільки ОЗ було виведено через застарілість чи зношення.

Таким чином, окрім відсутності оборотних активів для покриття свої поточних зобов'язань у КП «Київський метрополітен» є інша не менш важлива проблема – морально та матеріально застаріла технологічна база, що підтверджується такими показниками як коефіцієнти оновлення та приросту. І хоча дані показники висвітлюють ситуацію у загальному щодо стану основних засобів, тим не менш ситуація є не втішною. Саме тому варто більш детально зупинитись на аналізі стану рухомого складу.

Так, більшість поїздів, які щодня виходять на маршрут у КП «Київський метрополітен» датуються 80-90-ми роками виробництва (див. рисунок 2.1) [34].

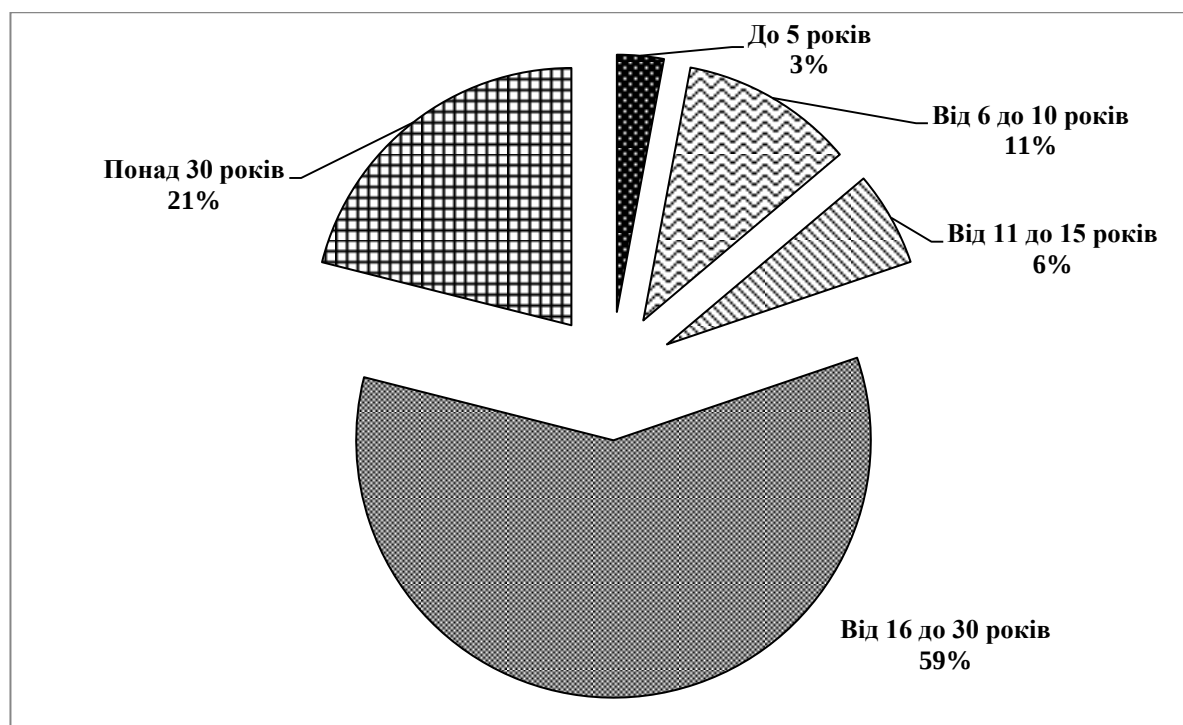


Рисунок 2.1 – Структура вагонів поїздів КП «Київський метрополітен» за часом експлуатації

Так, станом на кінець 2019 року 80% вагонів поїздів метрополітену експлуатуються більше 16 років. Більш того, 21% з них експлуатуються більш ніж 31 рік, а щорічний їх огляд і науково-технічні висновки щодо їх стану мають наслідком лише пошук можливих напрямків подовження строків їх служби із

збереженням рівня безпеки, аніж на повне комплексне оновлення рухомого складу. Такі роботи на договірній основі виконує ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (ПАТ «КВБЗ»).

Протягом останніх 15 років ПАТ «КВБЗ» в рамках міжнародного проекту за кошти, що отримані Україною в рамках Кіотського протоколу, а також в рамках звичайних договорів обслуговування між підприємствами, проведено технічне діагностування близько 400 вагонів метрополітену типу «Е» КП «Київський метрополітен» та здійснено комплексну їх модернізацію.

На другому місці у загальній структурі знаходяться вагони поїздів, які знаходяться в експлуатації від 6 до 10 років, таких налічується 112 штук (або ж 11% від загальної кількості). Основні роботи, що проводяться з такими вагонами, це регулярний огляд і заміна окремих запчастин, які мають швидкий термін зношення.

Що стосується нових поїздів, або ж поїздів, строк експлуатації яких становить до 5 років (3% від загальної кількості), то головним їх постачальником так само є ПАТ «КВБЗ». Сьогодні перспективною розробкою ПАТ «КВБЗ» для КП «Київський метрополітен» є поїзд з вагонів типу 81-7021 (головний)/81-7022(проміжний, без кабіни управління), який сьогодні курсує по Сирецько-Печерській лінії. У майбутньому дані вагони мають повністю прийти на заміну вагонам типу 81-717(головний) /81-714 (проміжний, без кабіни управління), які наразі експлуатуються на всіх лініях. Частина електроніки нового типу вагонів зроблена на основі обладнання АТ «Метровагонмаш», крім того, додано низку вдосконалень, зокрема, збільшено місткість салону, технічне обладнання винесено з-під місць для сидіння, додано відеоспостереження та примусова вентиляція. Більш ергономічною є кабіна машиніста - окрім перекомпонованого пульта, тут встановлено дисплей, на який передається зображення камер заднього огляду, встановлена САУРП. Головний вагон поїзду має аеродинамічну форму та велике лобове скло [39].

Досвід розвинених країн світу свідчить про те, що технологічне оновлення рухомого складу міського метрополітену дає змогу зменшити споживання ним електроенергії, що є головним джерелом його живлення і функціонування, до 40%. Так, за даними ПАТ «КВБЗ», який є провідним виробником вагонів в Україні, нові вагони типу 81-7036/81-7037, які використовують асинхронні двигуни дають змогу економити до 30% споживаної електроенергії, а мінімальна кількість контактів, що використовується в силовому ланцюзі сприяє зниженню витрат на експлуатацію та обслуговування двигунів [39].

Однак наразі договір щодо купівлі даного типу вагонів не укладено і на порядку денному дане питання не стоїть, а у найближчих планах, задекларованих КП «Київський метрополітен» зазначено, що до кінця 2020 року за рахунок ЄБРР запланована закупівля 50 нових вагонів (10 поїздів) для продовження Сирецько-Печерської лінії до станції метро «Виноградар», будівництво якої наразі знаходиться в активній стадії. Постачальника ж буде визначено згідно регламенту закупівель на комунальному підприємстві – за підсумками тендера, що проводиться через систему електронних закупівель PROZORRO [34].

Отже, КП «Київський метрополітен» в рамках оновлення рухомого складу здебільшого зосереджує увагу на оновленні та модернізації вагонів, які вже відпрацювали більше 30 років і які після оновлення зможуть пропрацювати ще стільки ж. Тоді як метрополітени інших країн разом із модернізацією існуючих вагонів активно здійснюють закупівлю нових поїздів, що дозволяє їм швидше пристосовуватись до нових технологічних викликів сьогодення і впроваджувати нові технології для підвищення комфорту і зручності перевезення пасажирів з одночасним зниженням витрат на перевезення. Непоодинокі дослідження підтверджують, що оновлення рухомого складу поїздів метрополітену дозволяє знизити витрати на їх утримання, а також інші загальновиробничі витрати у довгостроковій перспективі, що в свою чергу дозволяє підвищити рівень якості послуг пасажирських перевезень із можливістю збереження і підвищення загального рівня доходів метрополітену.

2.2 Дослідження стану пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен»

Сьогодні КП «Київський метрополітен» є без перебільшення ключовою транспортною артерією м.Київ. З його появою та подальшим розширенням структура пасажирських перевезень міста значно переорієнтувалась у бік швидкісного транспорту. Так, за даними Державної служби статистики України та Головного управління статистики у м.Києві кількість пасажирів, що користуються метрополітеном щороку зростає, тоді як інші види міського транспорту зменшують свою частку (див. таблиця 2.5).

Таблиця 2.5

Обсяг перевезення пасажирів у 2014-2019 рр. за видами транспорту, млн..осіб

Вид транспорту	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Автомобільний (автобуси)	400,5	304,6	312	307,4	262,5	219,8
Трамвайний	161,5	111,9	114,7	118,7	110,7	96,5
Тролейбусний	228,6	163,2	164,3	168	137,1	109,8
Метрополітенівський	503,9	485,7	484,6	498,5	496,1	495,3
Авіаційний	5,3	5,9	6,6	8,9	10,1	11,7
Разом (з урахуванням перевезень пасажирів міською електричкою)	1304,8	1076,2	1088,3	1108,3	1023,3	933,1

Джерело: [29; 30]

Так, у 2014 році обсяг перевезення пасажирів метрополітеном був лише на 25,8% більшим за обсяг перевезень пасажирів автомобільним видом транспорту, у 2016 році – на 55,3%, тоді як у 2019 році цей показник більш ніж в 2 рази перевищує показник автомобільних перевезень. Варто зазначити, що дані щодо автомобільних перевезень включають в себе не лише міський трафік, а й приміський, з огляду на це можна зробити висновок, що в рамках міста Київ, частка перевезень пасажирів метрополітеном більш ніж в 2,5 рази переважає над автомобільними перевезеннями (див. рисунок 2.2). Це свідчить про те, що люди дедалі більше обирають комфортний та швидкісний вид транспорту,

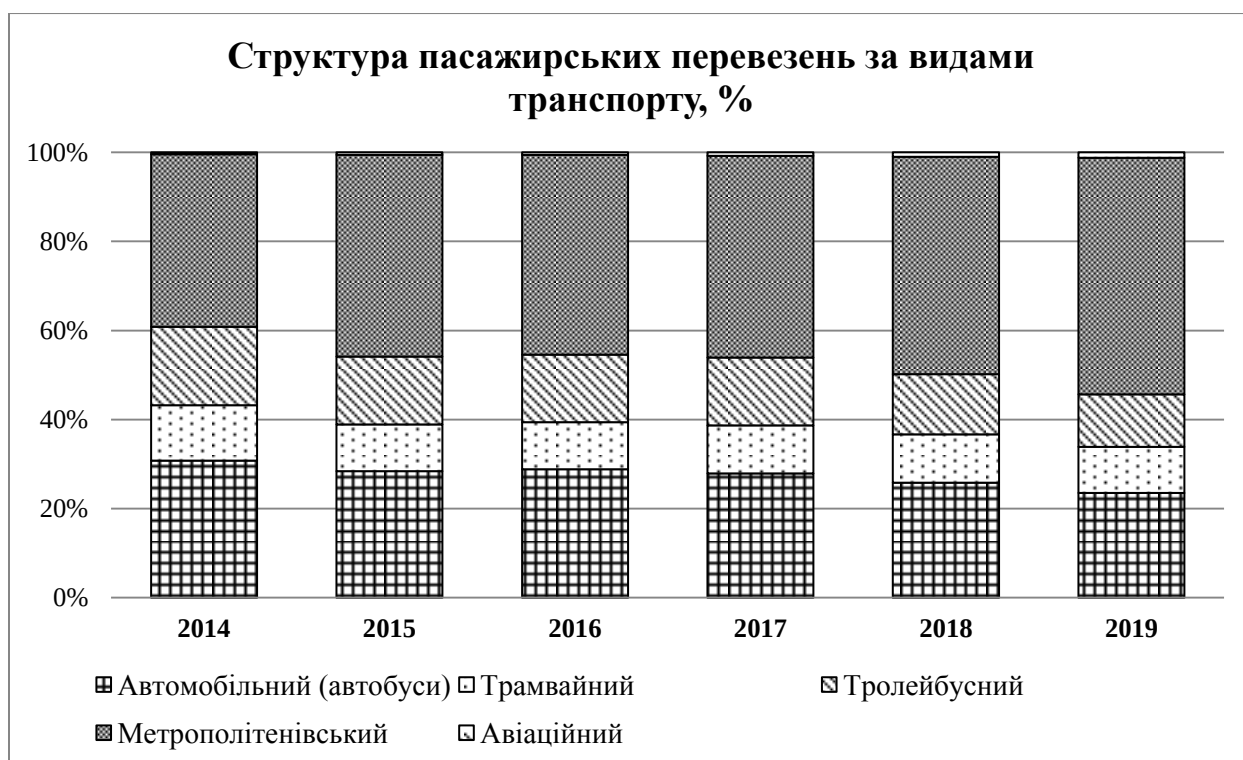


Рисунок 2.2 – Структура пасажирських перевезень за видами транспорту, %

відмовляючись від таких видів транспорту, де можуть відбуватись значні непередбачувані зміни у графіках руху, що пов'язано із заторами, кількістю аварійних ситуацій на дорогах. Велике значення має також безпосередній маршрут перевезень.

На рисунку 2.2 видно, що пасажирські перевезення метрополітеном збільшили свою частку із 38,62% у загальній структурі перевезень у 2014 році до 53,8% у 2019 році. В той же час частка автомобільних перевезень і тролейбусних значно зменшились із 30,7% та 17,5% у 2014 р. до 23,5% та 11,7% відповідно у 2019 році. Варто також додати, що частка пасажирських перевезень трамвайним видом транспорту майже не змінилась, і з року в рік коливається в межах 10,3-10,8%.

Підтвердженням того, що люди дедалі частіше обирають метрополітен, як більш надійний та стабільний вид транспорту є показник кількості поїздок у розрахунку на одну особу наявного населення у середньому за рік за видами пасажирського транспорту (див. таблиця 2.6). Хоча цей показник і рахується у

цілому по Україні, а не, наприклад, в рамках лише одного м.Київ, його дані все ж таки є показовими у порівнянні.

Таблиця 2.6

Кількість поїздок у розрахунку на одну особу наявного населення у середньому за рік за видами пасажирського транспорту, поїздок

Вид транспорту	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Авіаційний	0,18	0,15	0,15	0,19	0,25	0,3
Залізничний	9	9	9	9	4	4
Автомобільний (автобуси)	74	68	53	47	48	45
Тролейбусний	74	66	76	71	75	72
Трамвайний	60	61	69	65	64	64
Метрополітенівський	146	136	131	131	134	135

Джерело: [30]

Так, якщо враховувати, що не у всіх містах України є метрополітен, а лише у м.Київ, м.Дніпро та м.Харків, один пасажир незалежно від місця проживання за рік в середньому користується метрополітеном 131-135 разів.

Відповідно в 2 рази рідше пасажир користується тролейбусним та трамвайним видом транспорту і майже в 3 рази рідше автомобільним. Як вже було зазначення, ці дані є показовими оскільки тролейбуси, трамваї та автомобілі з автобусами є майже в усіх містах України. Звідси можна зробити висновок, що дані по м.Київ відрізняються від загальнонаціональних у рази, а пасажир в середньому користується метрополітеном від 480 до 600 разів на рік (із врахуванням кількості наявного населення в місті, кількості робочих днів у році, та середньої кількості поїздок на день).

Не менш важливим показником в рамках аналізу пасажирських перевезень є пасажирооборот, який розраховується добутком кількості пасажирів на загальну відстань перевезень (див. таблиця 2.7).

Таблиця 2.7

Пасажирооборот за видами транспорту, млрд..пас.км.

Вид транспорту	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Авіаційний	12,60	11,60	11,40	15,50	20,40	25,90
Залізничний	49,00	35,90	35,40	36,80	28,10	28,70
Автомобільний (автобуси)	49,00	42,60	34,60	34,60	35,50	34,60

Продовження таблиці 2.7

Вид транспорту	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Тролейбусний	7,60	6,40	6,10	5,90	6,00	5,80
Трамвайний	4,10	4,30	4,20	4,00	3,90	3,90
Метрополітенівський	5,90	5,60	5,40	5,40	5,50	5,50

Джерело: [30]

Однак в даному напрямі дослідження даний показник не є інструментом візуалізації у порівнянні. Порівнювати пасажирооборот навіть в рамках всього метрополітену України із пасажирооборотом автомобільним видом транспорту неможливо, оскільки протяжність автомобільних доріг і загальна довжина ліній метрополітену є неспівставними показниками. Тому вважаємо за необхідним розглянути даний показник лише в рамках КП «Київський метрополітен», як один з показників ефективності і динаміки пасажирських перевезень (див. таблиця 2.8).

Таблиця 2.8

Динаміка ключових показників пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен» у 2014-2019 рр.

Показник	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Кількість перевезених пасажирів (пасажиропотік), млн.пасажирів, у т.ч.:	487,7	485,7	484,6	498,5	496,07	495,33
Святошинсько-Броварська лінія	207	201,6	203,1	205,4	205,02	203,47
Оболонсько-Теремківська лінія	165,6	165,7	167,2	174,8	173,04	173,22
Сирецько-Печерська лінія	115,2	118,4	114,3	118,3	118,01	118,64
Довжина колій (у двоколіїному обчисленні), км, у т.ч.:	67,6	67,6	67,6	67,6	67,6	67,6
Святошинсько-Броварська лінія	22,75	22,75	22,75	22,75	22,75	22,75
Оболонсько-Теремківська лінія	20,95	20,95	20,95	20,95	20,95	20,95
Сирецько-Печерська лінія	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9
Середній показник перевезень пасажирів на 1 станцію, млн.пас, у т.ч.:	9,3	9,3	9,4	9,4	9,5	9,4
Святошинсько-Броварська лінія	11,5	11,2	11,3	11,3	11,4	11,3
Оболонсько-Теремківська лінія	9,2	9,4	9,5	9,6	9,6	9,6
Сирецько-Печерська лінія	7,2	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
Пасажирооборот, млрд.пас.км, у т.ч.:	32,97	32,83	32,76	33,70	33,53	33,48
Святошинсько-Броварська лінія	4,71	4,59	4,62	4,67	4,66	4,63
Оболонсько-Теремківська лінія	3,47	3,47	3,50	3,66	3,63	3,63
Сирецько-Печерська лінія	2,75	2,83	2,73	2,83	2,82	2,84

Джерело: складено автором за даними [29; 30; 34]

Як можна побачити в таблиці 2.8 найбільша кількість перевезених пасажирів, тобто загальний показник пасажиропотоку, можна було спостерігати у 2017 році (498,5 млн.пасажирів). У наступних 2018 та 2019 роках цей показник має динаміку до зниження: 496,07 та 495,33 млн. пасажирів відповідно. Зважаючи на те, що загальна протяжність колій та кількості рухомого складу за цей період не змінювалася можна зробити висновок, що така динаміка є негативною, а пасажиропотік зменшився через значне зменшення кількості пасажирів причому не тільки в метрополітені, а й в інших видах громадського транспорту. Однією з ключових причин такої ситуації є те, що у 2018 році відбулось подорожчання вартості проїзду відповідно до розпорядження Київської міської державної адміністрації до 8 грн. за поїздки (до цього вартість проїзду становила 4 грн. у автобусах, тролейбусах, трамваях і 5 грн. у метрополітені) [32]. Через це значна частина пасажирів почали пересаджуватись на альтернативні громадському види транспорту (маршрутки, «попутки», приватні перевезення тощо)

Така ситуація дзеркально відобразилась на показнику пасажирообороту по КП «Київський метрополітен» у цілому, а також окремо по лініях (див. рисунок 2.3). Так, найвище значення показника пасажирообороту було характерним для 2017 року (33,7 млрд.пас.км), а найбільш завантаженою лінією, як і протягом всього досліджуваного періоду, була Святошинсько-Броварська лінія (4,67 млрд.пас.км). У 2018 році значення показника пасажирообороту у цілому по КП «Київський метрополітен» зменшилось на 0,49% порівняно із 2017 р., а якщо розглядати його в розрізі ліній метрополітену окремо, то найбільше знизився пасажирооборот по Оболонсько-Теремківській лінії (на 1,01%), за нею йде Сирецько-Печерська лінія (на 0,25%) і на Святошинсько-Броварській лінії пасажирооборот зменшився на 0,19%.

У 2019 році порівняно з попереднім роком значення показника у цілому по КП «Київський метрополітен» зменшилось ще на 0,15%. Однак більш цікавою є ситуація в розрізі ліній метрополітену: так, по Оболонсько-Теремківській лінії пасажирооборот навпаки виріс на 0,1%, на Сирецько-Печерській лінії показник

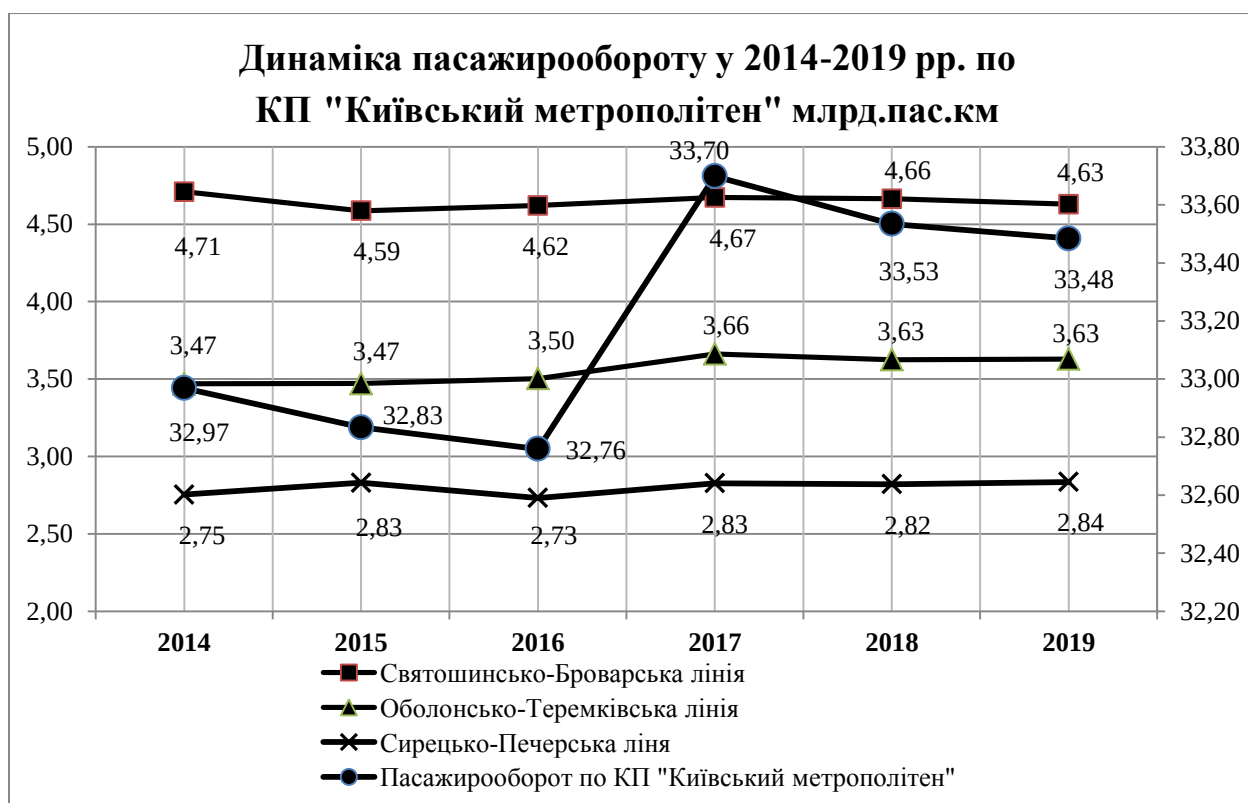


Рисунок 2.3 – Динаміка пасажирообороту у 2014-2019 рр. у КП «Київський метрополітен»

виріс на 0,53%, а на Святошинсько-Броварській лінії пасажирооборот зменшився на 0,76%, що і послугувало причиною зниження загального показника по метрополітену. Разом з тим, ця лінія все одно є найбільш завантаженою порівняно з іншими, а отже і має більший вплив на загальні показники пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен».

З огляду на таку ситуацію, вважаємо за необхідне більш детально зупинитись на аналізі стану пасажирських перевезень окремо по лініях КП «Київський метрополітен». Враховуючи те, що більш деталізованої статистики щодо стану пасажирських перевезень в розрізі ліній метрополітену наразі в офіційних джерелах немає ми будемо виходити із середніх значень окремих показників, які на нашу думку є не менш показовими. Проаналізуємо показники навантаження, що були детально описані у 1.3.

За допомогою цих показників можливо оцінити та порівняти завантаженість ліній КП «Київський метрополітен» у години пік та години із найменшим

пасажиropoтoкoм, проаналізувати яку кількість пасажирів перевозять поїзди ліній у середньому за годину та добу, що в майбутньому може бути використано в якості основи для прийняття управлінських рішень щодо подальшого розвитку ліній КП «Київський метрополітен». Розраховані дані занесені до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Динаміка показників пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен» в розрізі ліній у 2014-2019 рр.

Рік	Довжина лінії, км	Середньодобова завантаженість на 1 км лінії, тис.пас/км	Середньодобовий обсяг перевезень по лінії в одному напрямі, тис.пас./доба	Середньодобова завантаженість на 1 станцію лінії, тис.пас	Середньогодинний обсяг перевезень у двох напрямках, тис.пас/год	Середньогодинний обсяг перевезень на станцію, тис.пас/год	Середньогодинний піковий обсяг перевезень у двох напрямках, тис.пас/год (з урахуванням годин пік з 07.00 до 10.00 і з 16.00 до 19.00)	Середньогодинний обсяг перевезень у двох напрямках у найменш завантажений час, тис.пас/год (з урахуванням таких годин з 06.00 до 07.00 і з 20.00 до 24.00)
	<i>Lm</i>	<i>Q_{лсер}</i>	<i>Q_{сл}</i>	<i>Q_{ссер}</i>	<i>Q_{гсер}</i>	<i>Q_{гссер}</i>	<i>Q_{Пmax}</i>	<i>Q_{Пmin}</i>
Святошинсько-Броварська лінія (червона)								
2015	22,75	24,28	552,33	30,68	61,37	1,70	85,92	30,07
2016	22,75	24,39	554,92	30,83	61,66	1,71	86,32	30,21
2017	22,75	24,74	562,74	31,26	62,53	1,74	87,54	30,64
2018	22,75	24,69	561,70	31,21	62,41	1,73	87,38	30,58
2019	22,75	24,50	557,45	30,97	61,94	1,72	86,71	30,35
Оболонсько-Теремківська лінія (синя)								
2015	20,95	21,67	453,97	25,22	50,44	1,40	70,62	24,72
2016	20,95	21,81	456,83	25,38	50,76	1,41	71,06	24,87
2017	20,95	22,86	478,90	26,61	53,21	1,48	74,50	26,07
2018	20,95	22,63	474,08	26,34	52,68	1,46	73,75	25,81
2019	20,95	22,65	474,58	26,37	52,73	1,46	73,82	25,84
Сирецько-Печерська лінія (зелена)								
2015	23,9	13,57	324,38	20,27	36,04	1,13	50,46	17,66
2016	23,9	13,07	312,30	19,52	34,70	1,08	48,58	17,00
2017	23,9	13,52	323,22	20,20	35,91	1,12	50,28	17,60
2018	23,9	13,49	322,43	20,15	35,83	1,12	50,16	17,55
2019	23,9	13,56	324,15	20,26	36,02	1,13	50,42	17,65

Джерело: розраховано автором за даними [29; 30; 33]

Так, найдовшою за протяжністю є Сирецько-Печерська лінія КП «Київський метрополітен», однак саме вона має найменшу кількість станцій – 16 (дві інші налічують по 18 станцій). За досліджуваний період середньодобова завантаженість лінії на 1 км знаходиться в межах 13,07-13,57 тис.пас./км., середньодобовий обсяг перевезень по лінії в одному напрямі варіюється від 312,22 до 324,38 тис.пас./доба, а середньодобова завантаженість однієї станції змінювалась від 19,52 до 20,27 тис.пас., при чому найвищі значення всіх цих показників були у 2015 році. Аналіз пікових навантажень за середніми значеннями показав, що Сирецько-Печерська лінія у години пік (на основі спостережень годинами пік пропонуємо вважати період з 07.00 до 10.00 ранку та з 16.00 до 19.00 вечора) у середньому перевозив від 48,58 до 50,46 тис.пас. на годину у двох напрямках.

Наступною за рівнем навантаження на основі проведених розрахунків іде Оболонсько-Теремківська лінія. Так, середньодобова завантаженість лінії на 1 км знаходиться в межах 21,67-22,86 тис.пас./км. (майже на 9 тис.пас./км більше порівняно із Сирецько-Печерською лінією), середньодобовий обсяг перевезень по лінії в одному напрямі варіюється від 453,97 до 478,90 тис.пас./доба, середньодобова завантаженість однієї станції змінювалась від 25,22 до 26,61 тис.пас., а найвищі значення всіх цих показників, на відміну від попередньої лінії, були у 2017 році. Дослідження пікових навантажень за середніми значеннями показав, що Оболонсько-Теремківська лінія у години пік у 2014-2019 рр. у середньому перевозив від 70,62 до 74,5 тис.пас. на годину у двох напрямках, що на більш ніж 20 тис.пас. більше порівняно із Сирецько-Печерською лінією.

І, нарешті, найбільш завантаженою лінією КП «Київський метрополітен» є Святошинсько-Броварська лінія, що підтверджується розрахунками. За період 2014-2019 рр середньодобова завантаженість лінії на 1 км знаходиться в межах 24,28-24,74 тис.пас./км, середньодобовий обсяг перевезень по лінії в одному напрямі варіюється від 552,33 до 562,74 тис.пас./доба, середньодобова завантаженість однієї станції змінювалась від 30,68 до 31,26 тис.пас. Найвищі

значення всіх цих показників були у 2017 році. Якщо аналізувати роботу лінії під час пікових навантажень, то у двох напрямках середньогодинний піковий обсяг перевезень становив від 85,92 у 2015 році до 86,71 у 2019 році, що у середньому на 13-15 тис.пас. більше порівняно з Оболонсько-Теремківською лінією і майже в 2 рази більше порівняно з Сирецько-Печерською лінією.

Не менш важливим є показник середньогодинного обсягу пасажирських перевезень на станцію. Так, найбільш завантаженими є станції на Святошинсько-Броварській лінії: за годину в середньому на станцію приходить від 1,7 тис.пас. у 2015 році до 1,72 тис.пас. у 2019 році. Це є не дивним, оскільки це була першою лінією метрополітену, що побудована в м.Київ, і відповідно вся бізнес-інфраструктура та житлові сектори на той момент намагались будувати поруч для зручності жителів міста. До того ж, саме на цій лінії знаходяться найбільш відвідувані станції: ст.м.Вокзальна, ст.м.Хрещатик, ст.м.Театральна, ст.м.Лісова, ст.м.Святошин та ст.м.Академмістечко. Така ситуація пояснюється тим, що на цих станціях знаходяться або перехідні вузли, або вони є кінцевими станціями зупинки приміських транспортних маршрутів, або ж станціями, які дозволяють відвідати історичні куточки міста.

Наступною за показником середньогодинного обсягу пасажирських перевезень на станцію є Оболонсько-Теремківська лінія. Так, за годину на одну станцію приходилось від 1,4 тис.пас. у 2015 році до 1,46 тис.пас. у 2019 році, а найвище значення показника було у 2017 році – 1,48 тис.пас на годину. Що стосується Сирецько-Печерської лінії, за годину на одну станцію приходилось від 1,08 тис.пас. у 2016 році до 1,13 тис.пас. у 2019 році, а найвищі значення показників були у 2015 та 2019 році – 1,13 тис.пас. на годину.

За даними КП «Київський метрополітен» станом на кінець 2019 року найбільш завантаженою на червоній Святошинсько-Броварській лінії була станція «Академмістечко»: за рік станцію відвідали 13,743 млн.пасажирів [34]. За нею йдуть станції «Лісова» та «Вокзальна»: ними скористались близько 12

млн.пасажирів. Найменш відвідуваною є станція «Дніпро»: за рік її відвідали лише 652,2 тис.пасажирів.

На синій Оболонсько-Теремківській лінії максимальний пасажиропотік у 2019 році був на станціях «Мінська» – 10,934 млн.пасажирів, «Почайна» та «Контрактова площа»: більш ніж 9 млн.пасажирів на станцію, а найменший пасажиропотік спостерігали на станції «Виставковий центр» – лише 3,297 млн.пасажирів [34].

На зеленій Сирецько-Печерській лінії найбільш завантаженими станціями були «Позняки» (9,73 млн.пасажирів) та «Лук'янівська» (9,19 млн.пасажирів), а найменш завантажено була станція метро «Червоний хутір» – лише 1,1 млн.пасажирів за рік [34]. Тобто існуюча статистика підтверджує отримані розраховані дані щодо того, що саме ця лінія є найменш завантаженою серед усіх по КП «Київський метрополітен».

Таким чином, не дивлячись на те, що конкуренція за пасажирів серед міських перевізників є значною, метрополітенівський транспорт і надалі продовжує збільшувати свою частку у загальній структурі пасажирських перевезень різними видами транспорту, що підтверджується проведеними розрахунками. Отримані дані аналізу стану пасажирських перевезень та розрахунки завантаженості ліній метрополітену в цілому дають змогу зробити висновок, що загальний пасажиропотік збільшується і навантаження на КП «Київський метрополітен» з року в рік зростає. Такий стан речей дає змогу зрозуміти, що зростаюче навантаження потребує подальшої модернізації та технічного оновлення систем автоматизованого управління рухом поїздів (САУРП), а саме підвищення рівня їх автоматизації, оскільки технології повинні відповідати розрахованим рівням навантаження, які, за умов збереження існуючої тенденції, продовжуватимуть зростати. Ще більш актуальним це питання стає з огляду підвищення рівня вимог пасажир-споживача, оскільки відповідь на цей запит сьогодні є першочерговою.

2.3 Аналіз існуючих систем автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен»

Становлення КП «Київський метрополітен», як потужного та швидкісного перевізника має тривалу історію, яка бере свій початок ще за радянських часів. З огляду на це, схеми будівництва тунелів та платформ, типи вагонів, а також загальні схеми його функціонування і автоматизації ще досі мають відлуння тих часів. Це пояснюється тим, що будівництво і запуск метро в більшості великих міст в СРСР відбувалось швидкими темпами і всі підходи на той момент були уніфікованими, все відбувалось згідно встановлених та діючих на той момент норм ДБН (Державні будівельні норми), що дозволяло швидко виробляти, доставляти та замінювати необхідні деталі і частини вузлів, механізми будівництва.

Так, як і в більшості великих метрополітенів на пострадянських теренах, перша система автоматизованого управління рухом поїздів, а точніше її підвид за апаратною реалізацією – система інтервального регулювання руху поїздів, з'явилась у 80-их роках минулого сторіччя. В ці роки у КП «Київський метрополітен» експлуатувались вагони типу «Е», які, як було зазначено у попередніх розділах, і досі курсують по лініях, і, які із впровадженням САУРП почали поділяти на головні та проміжні вагони.

Так, історично першим підвидом САУРП, що встановлювались у КП «Київський метрополітен» була система автоматичного блокування (САБ). САБ – це система автоматичного регулювання руху поїздів, коли управління світовими сигналами світлофорів відбувається автоматично під час проходження поїздом контрольних точок, на які він впливає своєю вагою, на певних блок-ділянках [8]. Автоматичне блокування відноситься до систем інтервального регулювання руху поїздів на перегонах і на станціях без колійного розгалуження і забезпечує [16, с.28-29]:

- встановлення і підтримку мінімального безпечного інтервалу та відстані між попутним і наступними потягами;
- безперервне замикання хвоста поїзда заборонним сигналом світлофора;
- виконання вимог, що пред'являються правилами технічної експлуатації (ПТЕ) метрополітенів до систем автоматичного блокування.

При обладнанні лінії системами автоблокування з метою забезпечення необхідної пропускної спроможності проводились тягові розрахунки. На підставі тягових розрахунків здійснювалось розміщення світлофорів на лінії. При цьому передбачалось, щоб відстань між суміжними світлофорами повинна бути, як правило, не менше довжини гальмівного шляху при службовому гальмуванні зі швидкості, допустимої на шляху прямування. Увімкнення на світлофорі дозволяючого сигналу можливо тільки після переходу шляхової скоби автостопу, яка переводила його в стан дозволу. Такий порядок роботи світлофорів автоблокування забезпечував безаварійну зупинку поїзда в разі проходження ним світлофора із забороненим сигналом [16, с.29-30].

Однак, під час використання САБ, робітники КП «Київський метрополітен», а також пасажирів, які з активності почали користуватись транспортними послугами підприємства стикнулись з проблемою: низька пропускна здатність на лініях, або ж кількістю поїздів, що проходять по лінії за годину. Так, пропускна здатність на лінії при застосуванні САБ залежить від:

- швидкості руху поїздів, що дозволена на лінії;
- встановленої відстані між попутним і наступним поїздами;
- інших факторів, що впливають на пропускну здатність (час спрацьовування приладів автоблокування, час сприйняття машиністом сигналу світлофора тощо).

І якщо пропускна здатність на перегоні була більш-менш нормальною і прийнятною як для швидкісного виду транспорту, то пропускна здатність на станції була значно меншою, що було обумовлено необхідними зупинками для посадки та висидки пасажирів на станціях метрополітену. Через це пропускна

здатність лінії в районі станцій не перевищувала 35 пар поїздів на годину [16, с.38].

Для вирішення проблеми підвищення пропускної здатності на станціях було прийнято рішення, щодо необхідності зміни прийнятих величин довжини блок-ділянок, захисних ділянок та відстані між розміщеннями світлофорів та автостопів, що були невід’ємною частинною САБ (див. таблиця 2.10).

Таблиця 2.10

Нормативні значення окремих показників при застосуванні САБ для підвищення рівня пропускної здатності на станціях

Показник	Значення
Довжина блок-ділянок	62,5 м
Кількість рівнів сигналізації	4
Відстань розміщення автостопів перед входними світлофорами	20 м
Час на ввімкнення дозвільного сигналу світлофору після спрацювання автостопа	1 сек

Джерело: складено автором за даними [16, с.38-40]

Дані зміни ще на деякий час дозволили вирішити частину існуючих проблем із низькою пропускною здатністю, однак не в повній мірі. Система із використанням автостопів і автоблокування виявилась неспроможною для обслуговування зростаючого пасажиропотоку через фактор часу, а саме через час для спрацювання приладів автоблокування, час сприйняття машиністом сигналу світлофору тощо.

Вирішенням цієї ситуації на той час стало поступове впровадження більш удосконаленої САУРП – системи АЛС-АРШ, або ж системи автоматичної локомотивної сигналізації з автоматичним регулюванням швидкості, яка і сьогодні є діючою системою для КП «Київський метрополітен» [9]. Дана система забезпечує [9; 15; 16]:

- безперервний контроль довжини вільної ділянки колії перед потягом і підтримку безпечного інтервалу між попутним наступним поїздами в залежності від швидкості руху поїздів;
- передачу в кабіну машиніста інформації про допустиму (дозволену) швидкість руху в реальному часі;

- постійне порівняння фактичної і дозволеної швидкостей;
- автоматичне включення гальм з видачею акустичного сигналу, якщо фактична швидкість перевищує дозволу;
- автоматичне припинення гальмування, якщо фактична швидкість стала менше або дорівнює дозволу;
- автоматичне гальмування аж до повної зупинки поїзда, якщо машиніст не підтвердить свою пильність (таке підтвердження проводиться натисненням спеціальної кнопки або педалі);
- огороження хвоста попереднього поїзда, що здійснюється сигнальною командою, яка забороняє рух і яка подається на останній вільний (перед зайнятим поїздом) рейковий ланцюг;
- виконання інших вимог та правил щодо безпеки руху поїздів, згідно ПТЕ.

Станом на сьогодні, система АЛС-АРШ є основним засобом сигналізації та інтервального регулювання руху поїздів на КП «Київський метрополітен», а для підвищення рівня безпеки руху вона доповнена ще дублюючим автономним пристроєм АРШ (ДАУ-АРШ). За таких умов на пульті в кабіні машиніста є інформація про дозволу швидкість руху як на поточному рейковому колі (основна сигналізація), так і про дозволу швидкість руху на наступному рейковому колі (попереджувальна сигналізація) [8; 16, с.41-42].

Робота системи АЛС-АРШ має чітку встановлену логіку та регламент функціонування, що пов'язує між собою всі сигнальні, попереджувальні та управлінські пристрої, а саме: ГСЧ - генератори сигнальних частот; ПФКС - пристрої формування кодових сигналів; ППКС - пристрої передачі кодових сигналів; КС - кодовий сигнал; ПК - прийомні котушки; БПП - блок поїзних приймачів; БС - блок сигналізації; ДШ - датчик швидкості; БВШ - блок вимірювання швидкості; БУ - блок управління; КП (ПП) - кнопка (педаль) пильності; АС - акустичний сигнал; М - машиніст; ПМ - пульт машиніста; БУ і С - блок управління і сигналізації, що дозволяє здійснювати пасажирські перевезення із вищою пропускнуою здатністю порівняно із САБ (див. рисунок 2.4) [16, с.42].

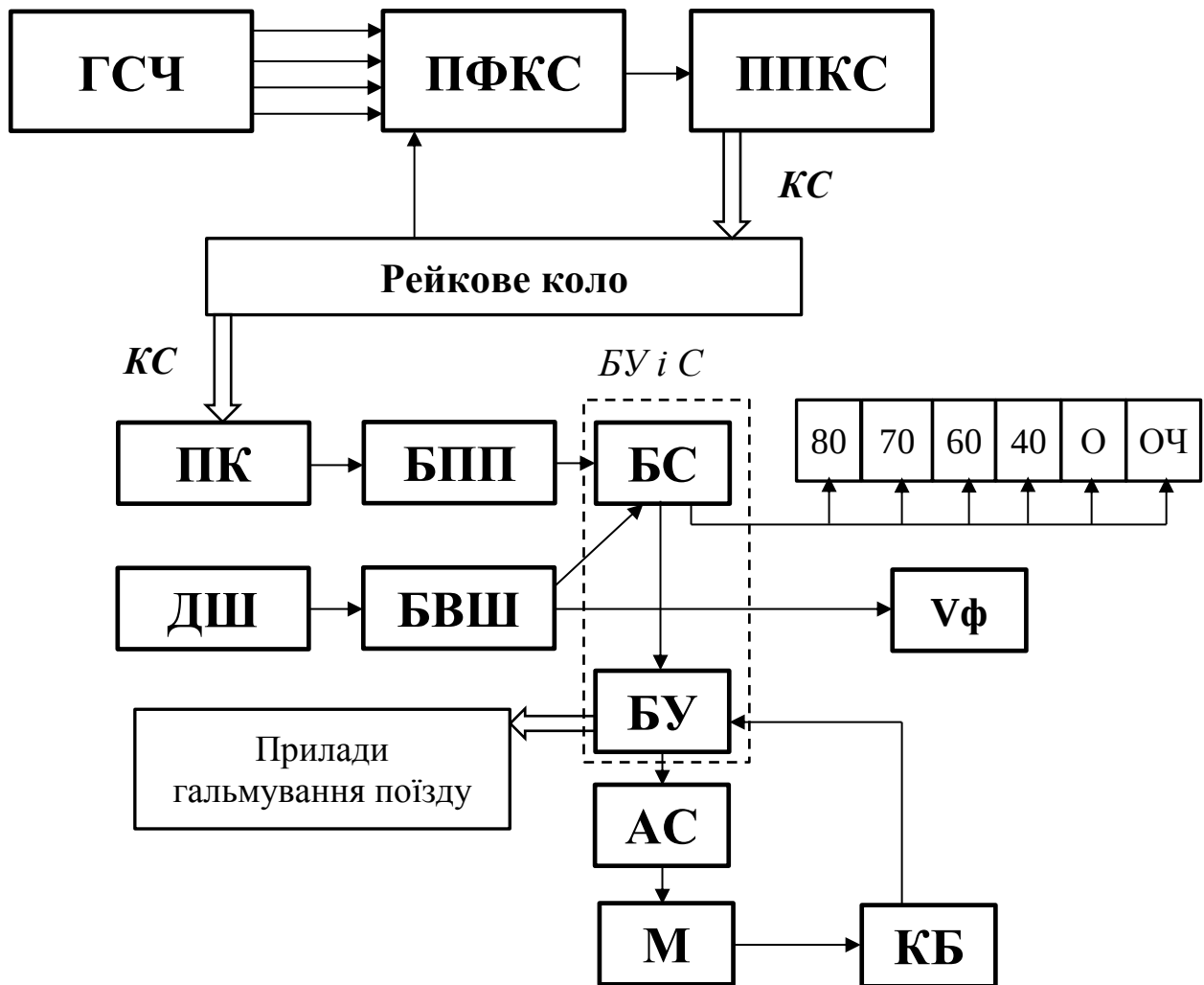


Рисунок 2.4 – Структурно-логічна схема АЛС-АРШ КП «Київський метрополітен»

Так, для передачі інформації щодо дозволеної швидкості руху використовуються частотні кодові сигнали (КС), коли кожній окремій частоті кодового сигналу відповідає певна швидкість [16, с.41-42]:

- для 75 Гц – швидкість 80 км/год;
- для 125 Гц – швидкість 70 км / год;
- для 175 Гц – швидкість 60 км / год;
- для 225 Гц – швидкість 40 км / год;
- для 275 Гц – швидкість 0 – це сигнал зупинки.

Існує ще одна частота – 325 Гц, яка приймає такі значення: в системі «Дніпро» - попереджувальне значення «Рівність швидкостей», яке вказує, що

швидкість наступного рейкового кола дорівнює або більше дозволеної швидкості порівняно із поточним рейковим колом; в ДАУ-АРШ подає інформацію про напрямок руху поїзда і про дозволену швидкість 40 км/год.; комбінація 225 Гц і 325 Гц використовується для передачі кодового сигналу напрямку руху (КС-Н); в той же час вона передає інформацію про дозволену швидкість руху 40 км/год. [16, с.41-42].

Приладним вказівником в кабіні управління поїзда метрополітену подаються такі сигнали:

- цифровий показник (наприклад, 60, 70, тощо) означає, що «Дозволяється рух із швидкістю, що не перевищує вказану сигнальним показником»;
- цифра «0» розшифровується як: «Стій! Необхідна зупинка!»;
- літери «НЧ» (немає частоти) або «ОЧ» (відсутність частоти) розуміються як: «Стій! Необхідна зупинка. Попереду шлях зайнятий, несправність колійних, поїзних пристроїв АЛС-АРШ, злам рейки, не заданий маршрут, некодоване рейкове коло»;
- літери, що чергуються «О» і «НЧ» («ОЧ») розшифровуються як сигнал абсолютної зупинки (допускається на лініях, де основним засобом сигналізації є АЛС - АРС) – «Стій! Необхідна зупинка!».

Попереджувальна сигналізація про дозволену швидкість руху на наступному рейковому колі подається у вигляді цифрового або літерного сигнального вказівника («РС»).

На лінії, де рух поїзда контролюється АЛС-АРШ, поточний та наступний поїзди розмежовані блок-ділянками АЛС-АРШ, які являють собою ділянки шляху від кінця рейкового кола, що зайнята поїздом, що дорівнюють довжині гальмівного шляху при гальмуванні пристроями АЛС-АРШ зі швидкості, що дозволена на поточному рейковому колі. Межами блок-ділянок АЛС-АРШ є ізолюючі стики або точки підключення до рейок апаратури рейкових кіл. На кінцях рейкових кіл встановлюється літерні табличка з номером рейкового кола, що зайнята головою поїзда. Довжина блок-ділянки АЛС-АРШ є змінною і

залежить від дозволеної швидкості на поточному рейковому колі. Вільний стан блок-ділянки АЛС-АРШ контролюється керуючим реле [16, с.41-42].

Загальне функціонування системи АЛС-АРШ на станціях КП «Київський метрополітен» реалізована на основі електричної централізації, а точніше її підвиду – Маршрутно-релейної централізації (МРЦ), яка передбачає, що всі стрілки, що входять в маршрут, переводяться автоматично після натискання кнопок початку та кінця маршруту, і включає в себе апарати управління і контролю (пульт – табло), реле набірної групи, реле виконавчої групи, апаратуру управління і контролю, пристрої електроживлення і підлогові об'єкти (див. рисунок 2.5) [8; 16; 23; 50].

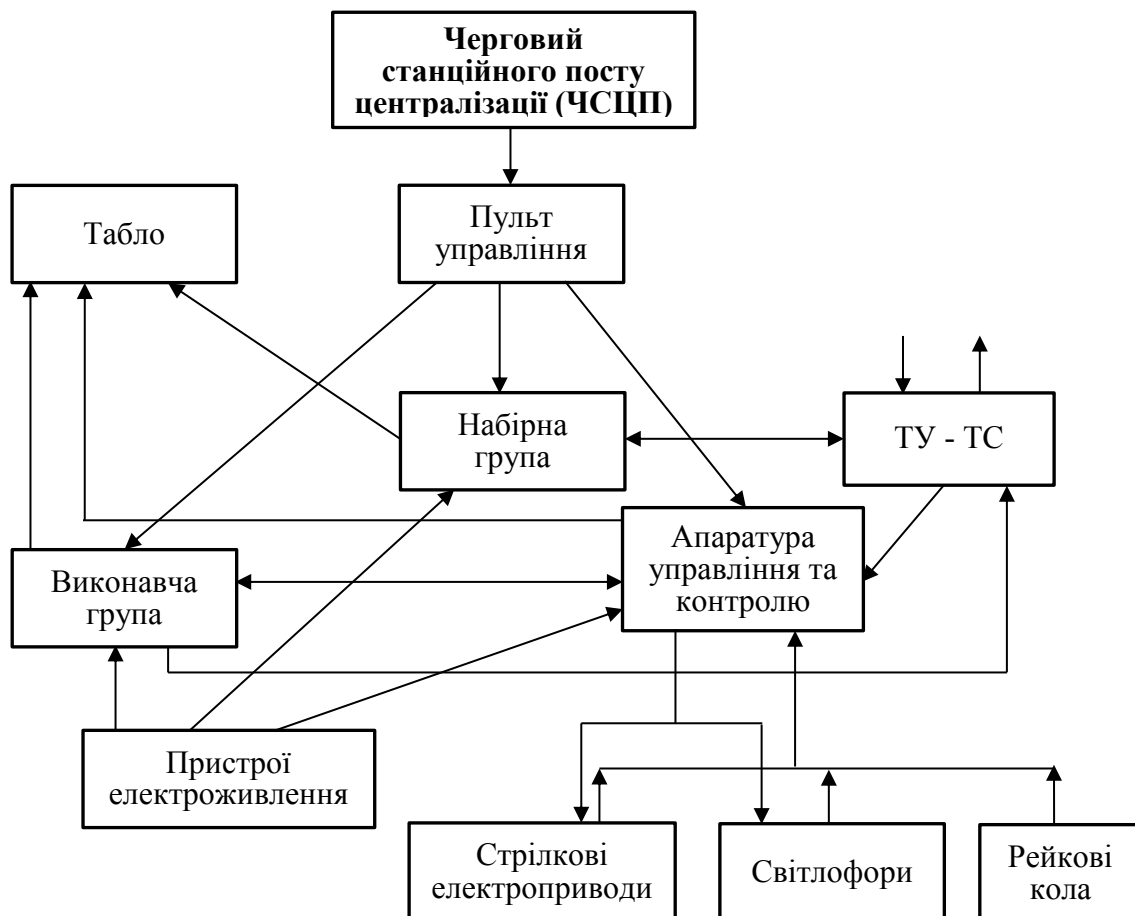


Рисунок 2.5 – Структурно-логічна схема МРЦ КП «Київський метрополітен»

Однак, варто зазначити, що протягом останнього десятиріччя КП «Київський метрополітен» працює в напрямку заміни застарілої блочно-релейної системи на сучасну мікропроцесорну систему централізації (МПЦ). МПЦ є аналогом МРЦ, а її впровадження має на меті переведення релейних систем ЕЦ на мікропроцесорну елементну базу, встановлення цифрової апаратура АЛС-АРШ рейкових кіл із збереженням правил управління пристроями СЦБ і дій ЧСЦП із забезпеченням необхідного ступені безпеки і безвідмовності [21].

Порівнюючи ці два варіанти централізації, а також проаналізувавши інформацію підприємств, що надають послуги з розробки та впровадження МПЦ на залізницях, варто виокремити переваги МПЦ над МРЦ. До таких переваг належать:

- вищий рівень надійності, що забезпечується дублюванням багатьох вузлів, в т.ч. центрального пульта управління;
- вищий рівень безпеки руху поїздів та пропускної здатності ліній, що реалізується за рахунок безперервного обміну інформацією між центральним пультом управління і об'єктами управління і контролю;
- підвищена інформованість для експлуатаційного і технічного персоналу про стан пристроїв СЦБ;
- менша енергоємність;
- вбудований діагностичний контроль стану апаратних засобів централізації і об'єктів управління і контролю;
- можливість реєстрації номерів поїздів, які проходять через станцію, а також всіх відмов/збоїв пристроїв СЦБ на станції і перегоні;
- значно менші габарити обладнання і, як наслідок, в декілька разів менший обсяг приміщень для його розміщення;
- можливість заміни на станціях централізації застарілого обладнання без побудови нових постів централізації.

Дані системи електричної станційної централізації є значно інтегрованими із системою диспетчерської централізації, яка призначена для загального

централізованого управління стрілками, сигналами та іншими об'єктами, розташованими на лінії, з одного пункту і отримання інформації про місцеположення поїзду на лінії і стан об'єктів в реальному часі.

Диспетчерська централізація являє собою комплекс пристроїв, що включають системи інтервального регулювання руху поїздів на перегонах (САБ або АЛС-АРШ), електричні централізації на станціях (МРЦ/МПЦ), систему телеуправління і телесигналізації (ТУ-ТС), яка призначена для передачі і прийому керуючих наказів (КН) і наказів-повідомлень (НП), засобів управління і відображення інформації (АРМ ПД) (див. рисунок 2.6).

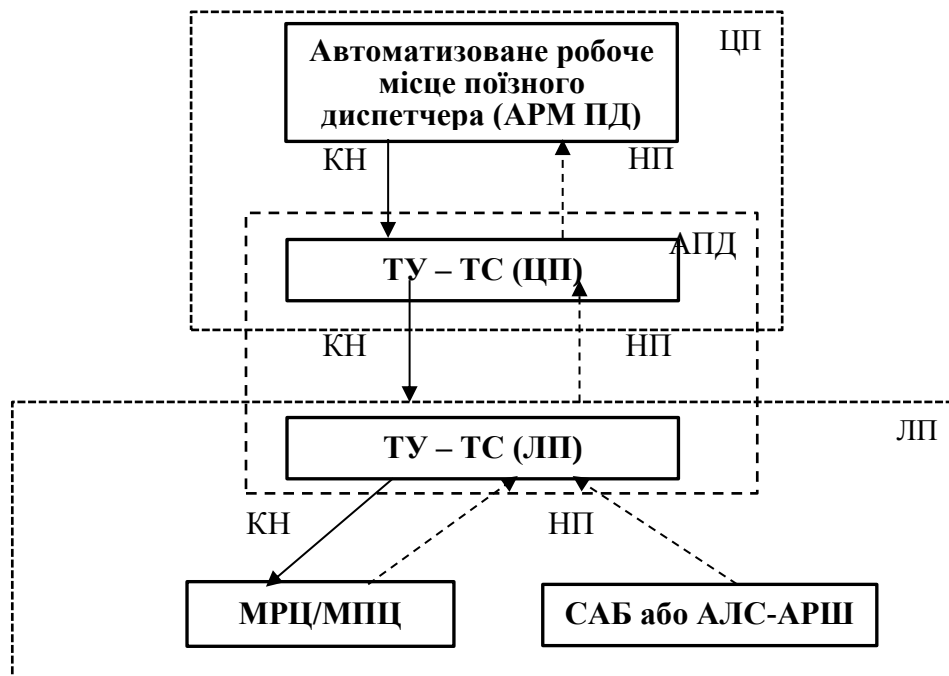


Рисунок 2.6 – Логічно-структурна схема функціонування ДЦ КП «Київський метрополітен»

Варто додати, що сьогодні на КП «Київський метрополітен» активно впроваджується система диспетчерської централізації з комп'ютерним пультом управління на базі мікропроцесорного устаткування (СКЦ+), яка згідно ПТЕ забезпечує [34]:

- управління стрілками і сигналами станцій на лінії з одного централізованого пункту;

- контроль на апараті управління за положенням стрілок, зайнятістю стрілично-колійних ділянок, колій на станціях та прилеглих до них перегонів, а також дублювання сигналів світлофорів напівавтоматичної дії;
- можливість переходу на локальне управління стрілками і сигналами безпосередньо на станції;
- виконання вимог, що ставляться до автоблокування АЛС-АРШ і електричної централізації;
- автоматичний запис графіків руху поїздів, що виконані, і контроль за номерами поїздів, які прибувають на станцію з колійним розв'ітвленням.

З метою реалізації останнього пункту ДЦ доповнена автоматичною системою зчитування номера поїзда (АСНП), яка дозволяє поїзному диспетчеру контролювати рух поїздів на лінії з прив'язкою до номерів маршрутів, а також бачити стан поїзних пристроїв АЛС-АРШ.

Номери поїздів автоматично зчитуються на станціях і по каналах зв'язку передаються на центральний пункт, де в свою чергу висвічуються на кольоровому дисплеї поїзного диспетчера із одночасним зазначенням його місцезнаходження. Комплекс технічних пристроїв АСНП включає в себе: поїзну апаратуру, станційну апаратуру, апаратуру центрального пункту АСНП, канали зв'язку [45].

Апаратура АСНП також контролює ввімкненість поїзних пристроїв АРШ і передає цю інформацію шляхом візуального відображення на дисплеї поїзного диспетчера відповідними кольорами, а саме:

- білі цифри номеру: означає, що на поїзді включені АРШ і ДАУ-АРШ;
- жовті цифри номеру: означає, що на поїзді відключено АРШ;
- червоні цифри номеру: означає, що на поїзді відключені АРШ і ДАУ-АРШ.

Таким чином, проаналізувавши напрямок еволюції САУРП на КП «Київський метрополітен», а також її апаратну реалізацію сьогодні, можна зробити висновок, що підприємство активно рухається у бік загальносвітових тенденцій із впровадження мікропроцесорних систем, що забезпечують

можливість підвищення рівня автоматизації управління рухом поїздів, пропускної здатності та безпеки під час здійснення пасажирських перевезень.

Висновок до розділу 2. Аналіз техніко-економічних показників діяльності підприємства є невід’ємною складовою загальної діяльності підприємства. В результаті проведених розрахунків показників ліквідності та платоспроможності, а також фінансово-майнового стану виявлено, що КП «Київський метрополітен» має певні труднощі із платоспроможністю, а саме: показниками швидкої та абсолютної ліквідності. Що стосується майнового стану, то ситуація є дещо кращою, однак аналіз стану активів показав ще одну проблему підприємства, а саме – зношеність більшості основних засобів та низький рівень їх оновлення, а оскільки значну їх частину складає рухомий склад метрополітену, то тут можна зробити однозначний висновок про матеріально-технічну застарілість: 21% вагонів метрополітену експлуатуються більш ніж 30 років.

Аналіз стану пасажирських перевезень та розрахунки завантаженості ліній КП «Київський метрополітен» продемонстрували значне щорічне збільшення загального пасажиропотоку і навантаження. Здійснено порівняльний аналіз роботи та завантаженості ліній метрополітену і виявлено, що найбільш завантаженою є Святошинської Броварська лінія, а найменш – Сирецько-Печерська лінія. Отримані результати розрахунків засвідчили, що метрополітен працює на межі значної завантаженості, що за умов збереження існуючої тенденції в подальшому без оптимізації існуючих САУРП, може призвести до значного відставання умов надання послуг пасажирських перевезень від зростаючого попиту як за якістю так і за обсягом таких перевезень.

САУРП на КП «Київський метрополітен», яка діє сьогодні пройшла досить тривалий шлях постійних модернізацій і вдосконалень, що взяла свій початок ще за радянський часів. Так, із початку 80 років минулого сторіччя на підприємстві поступово встановлювали системи автоматизації, які постійно зазнавали змін та

оновлень. Однак такі зміни не були кардинальними, а мали лише характер доопрацювання та доповнення, тоді як база залишалася незмінною – блочна маршрутно-релейна САУРП із встановленими технологіями АЛС-АРШ. Такі технології дозволяють сьогодні контролювати швидкості у декількох режимах, реагувати на сигнальні показники світлофорів, підтримувати радіозв'язок із робітниками станцій та пасажирями, контролювати відкривання/закривання дверей, а також відстань між поїздами на основі систем сигналізації та автоблокування. Оскільки дана система на такій технології із блочно-релейною апаратною реалізацією визнана застарілою сьогодні у більшості розвинених країн світу через те, що не відповідає вимогам до пасажирських перевезень сьогодення, КП «Київський метрополітен» наразі активно працює над модернізацією і робить кроки в сторону встановлення сучасних мікропроцесорних систем централізації на мікропроцесорній елементній базі, що активно застосовується у САУРП з вищим рівнем автоматизації.

3 ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ У МЕТРОПОЛІТЕНІ

3.1 Обґрунтування необхідності та визначення методів оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен»

Оптимізація існуючих систем автоматизованого управління рухом поїздів, а також будівництво нових ліній метрополітену із рівнями автоматизації GoA3 та GoA4 є ключових трендом розвитку метрополітенів в усьому світі. Сьогодні дедалі більше країн визнають необхідність заміни застарілих технологій в метрополітені на більш модернізовані та інформатизовані, що дозволяє значно підвищити рівень сервісу і безпеки пасажирських перевезень та відповідати на зростаючий попит до таких перевезень.

Усі заходи щодо заміни морально та фізично застарілого обладнання направлені на вирішення декількох задач:

- зниження витрат;
- підвищення рівня безпеки руху поїздів на лініях метрополітену;
- забезпечення стабільності та безперебійності пасажирських перевезень із зростаючим рівнем навантаження.

Як вже було зазначено у 1.2, швидке та масове розповсюдження САУРП різних рівнів автоматизації за кордоном мало наслідком впровадження стандартів до їх встановлення та подальшого функціонування на лініях метрополітенів. Із запровадженням стандартів стали можливими уніфікація вимог до систем і апаратури, що встановлюється, а також можливість подальшого підвищення рівня автоматизації на існуючій елементній базі без необхідності повного оновлення обладнання за умови що поточний рівень автоматизації впроваджений із врахуванням стандартів. Для більшості країн така тенденція дозволила швидко та

ефективно впровадити нові технології, які вже за декілька років продемонстрували окупність та доцільність впровадження.

Так, на сьогодні в країнах Європи та Азії оптимізація САУРП відбувається на основі ідентифікації систем залізничної автоматики та ключових показників надійності приладів автоматизації (див. рисунок 3.1).

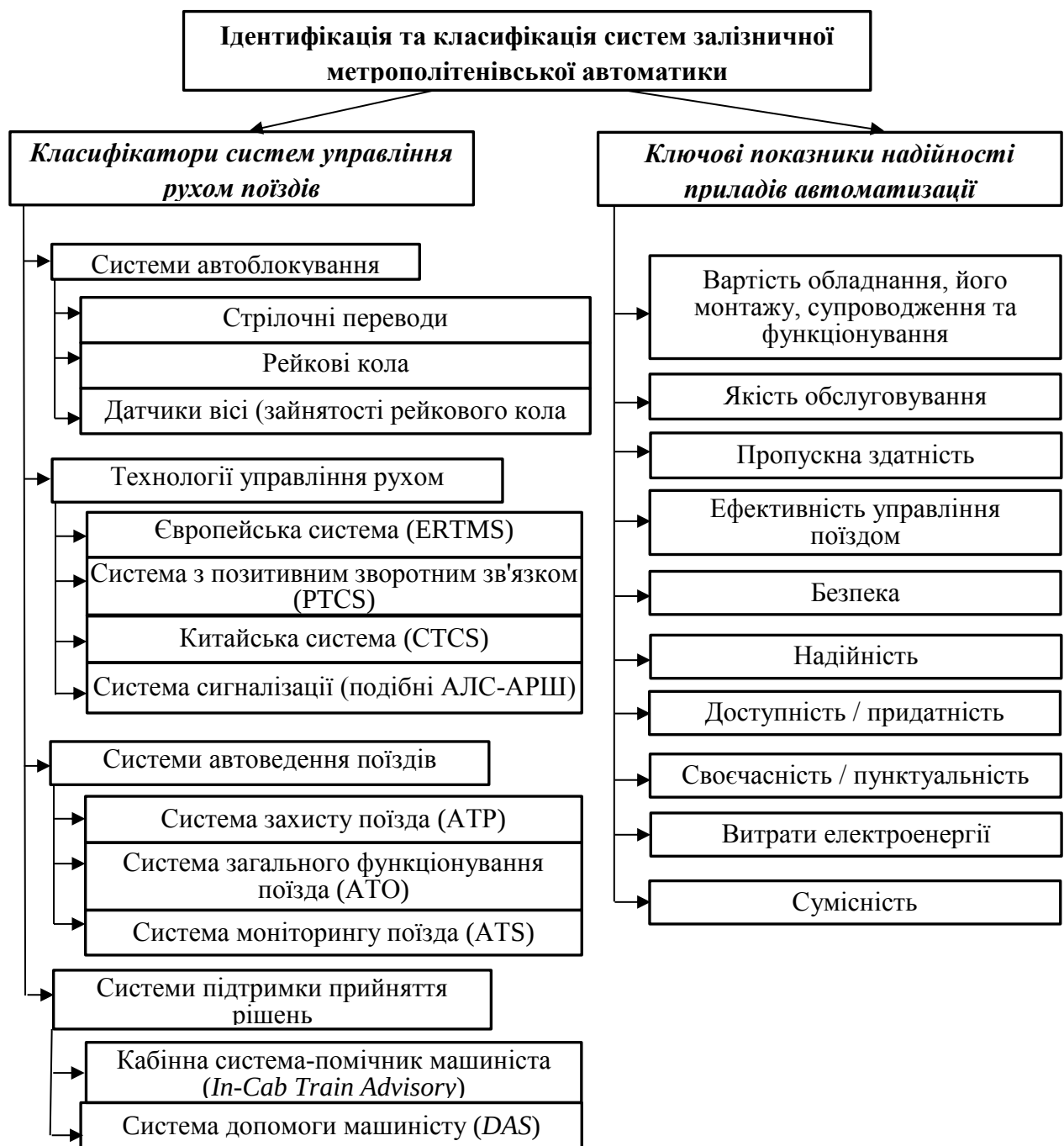


Рисунок 3.1 – Ідентифікація та класифікація систем залізничної метрополітенівської автоматики

Така різноманітність поточних систем автоматизації (або ж систем, які планується оптимізувати) обумовлена в більшості випадків країною приналежністю, оскільки розробки і впровадження САУРП у період 1980-2000 рр. здебільшого відбувались в межах країни із частковим впровадженням елементів країн-партнерів, якщо необхідна технологія була відсутня (див. рисунок 3.2).

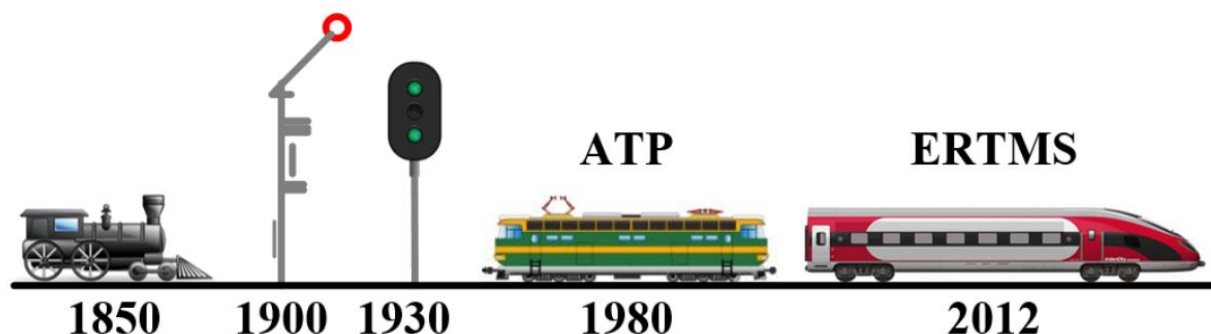


Рисунок 3.2 – Еволюція розвитку систем управління рухом поїздів

В більшості країн ЄС, де кожного року відбувається оптимізація САУРП метрополітену, проекти, на яких запроваджені технологія ERTMS, що відповідає вищим рівням автоматизації, отримали назву «цифрові». Така назва обумовлена масовою заміною та встановленням нових систем диспетчерської централізації (ДЦ) на базі мікропроцесорних схем (МПЦ), які сьогодні відіграють надважливу роль у підвищенні рівня автоматизації, оскільки здійснити переналаштування, перепрограмування, перевірку та перезавантаження систем на мікропроцесорній елементній базі є значно швидшим, дешевшим і надійнішим процесом ніж реалізація аналогічних кроків на релейних системах, що були значно поширеними і популярними на пострадянських теренах, і які і досі функціонують на багатьох лініях, споживаючи при цьому велику кількість електроенергії і займаючи значну площу у технічних приміщеннях.

Впровадження покращених САУРП та оптимізація існуючих, як вже було зазначено, здійснюється з певною метою і для вирішення певних проблем. Так, проаналізувавши досвід країн ЄС, Азії та США, можна побудувати структурно-

логічну схему, яка відображає загальну методику оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів (див. рисунок 3.3.)

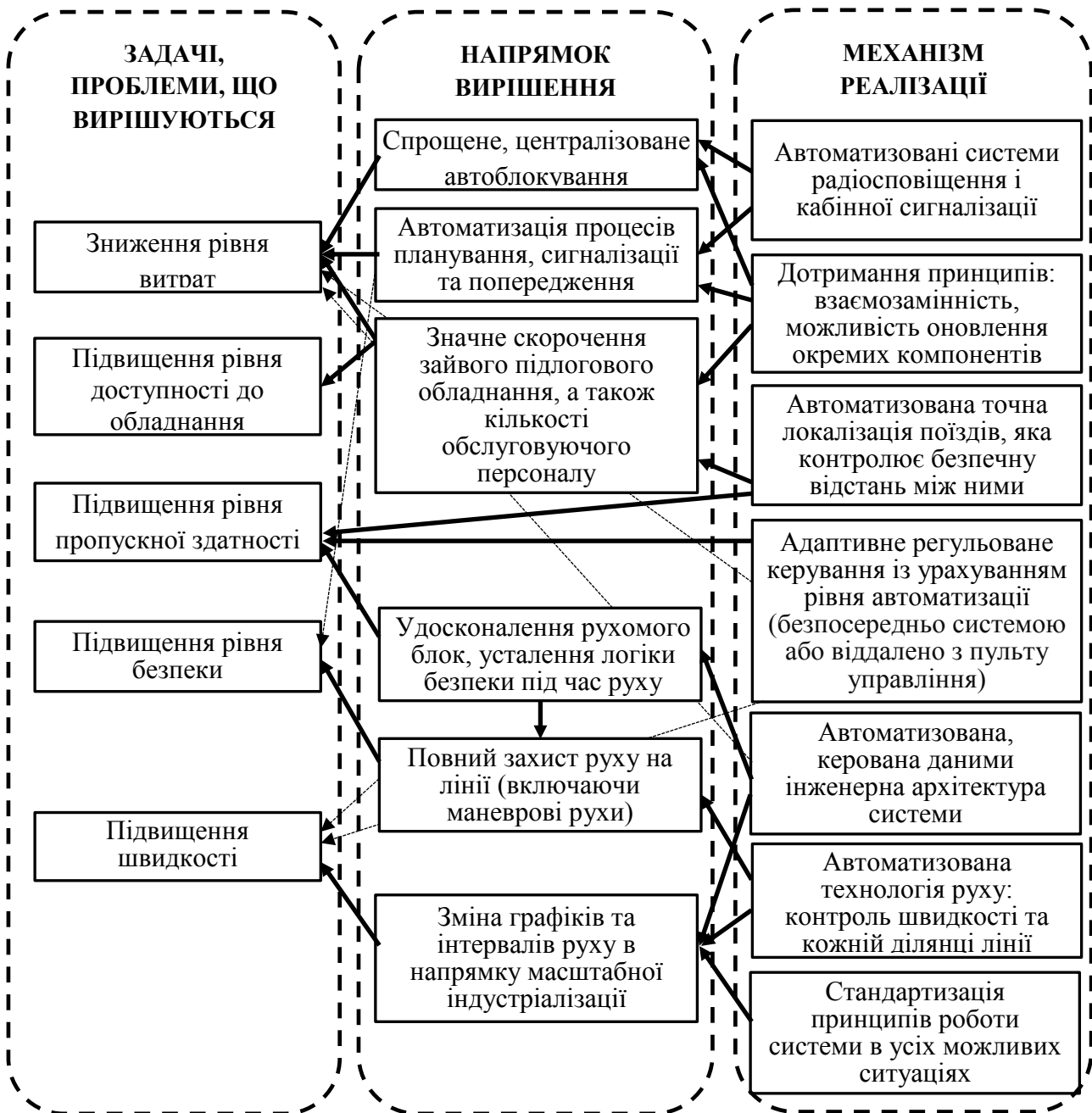


Рисунок 3.3 – Структурно-логічна схема оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у метрополітені

Так, на нашу думку дана схема досить повно відображає передумови та методи оптимізації САУРП, що може бути реалізовано на основі підвищення рівня автоматизації до рівнів GoA3 та GoA4 на лініях метрополітену України,

оскільки, як демонструє світовий досвід, керуючись такою логікою в зарубіжних країнах відбувається поступова і в той же час чітко спрямована модернізація. Вважаємо, що такий досвід може бути застосований і для КП «Київський метрополітен» особливо враховуючи, що перші кроки для цього, як було зазначено у 2.3, вже зроблено, а саме: здійснено часткову зміну систем централізації із блочно-релейної на мікропроцесорну, а на окремих постах централізації впроваджено мікропроцесорну елементну базу.

Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що підвищення рівня автоматизації, як методу оптимізації САУРП має ряд переваг, що підтверджено великою кількістю досліджень при розробці рекомендацій щодо оптимізації роботи громадського транспорту (зокрема метрополітенів) в різних країнах. Однак не варто забувати і про недоліки, які можуть супроводжувати таке підвищення. Саме тому вважаємо за необхідне аналізувати дане явище з усіх сторін з метою оцінки можливості подальшого їх впровадження в Україні, тобто провести SWOT-аналіз (див. таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

SWOT-аналіз підвищення рівня автоматизації існуючих САУРП в Україні

	Позитивний вплив	Негативний вплив
Внутрішнє	Сильні сторони: - порівняно розгалужена система ліній метрополітену; - спроможність перевозити значну кількість пасажирів у години пік; - потужний кадровий потенціал; - потужна конкурентна позиція на ринку пасажирських перевезень; - чітке регламентування та контроль діяльності всіх служб метрополітену.	Слабкі сторони: - застаріла матеріально технічна база; - функціонування метрополітену на основі інструкцій, що написані ще у 80-их роках минулого сторіччя; - переважання уніфікованої системи механізації, що була впроваджена ще за радянських часів;
Зовнішнє середовище	Можливості: - підвищення рівня безпеки перевезень; - підвищення рівня пропускну здатності лінії; - оптимізація виконання графіків руху поїздів; - підвищення рівня комфортабельності під час поїздки; - автоматизація щоденної звітності про рух; - підвищення мобільності в разі змін; - скорочення витрат.	Загрози: - неготовність до впровадження; - великі стартові витрати на впровадження більш високого рівня автоматизації САУРП; - необхідність повного оновлення частини рухомого складу для підвищення рівня автоматизації; - необхідність підлаштування під вимоги стандартів, без можливості внесення змін.

Джерело: складено автором

Оскільки ситуація із вітчизняним метрополітеном і станом пасажирських перевезень була проаналізована у розділі 2, тому вважаємо за необхідне більш детально зупинитись на можливостях і загрозах. Почнемо із можливостей, які являють собою позитивні сторони від впровадження САУРП вищих рівнів автоматизації. По-перше, системи вищих рівнів автоматизації дозволяють уникнути несприятливих наслідків в разі неуважності або відволікання машиніста. В сучасних умовах їх робота є доволі напруженою з огляду на необхідність постійно стежити за рухом, колією, датчиками, ситуацією на станціях тощо. Через це досить часто їх робота супроводжується підвищеною втомлюваністю, проблемами зору через постійну зміну світло-локацій, а все це, в свою чергу, може впливати на уважність і пильність машиніста під час непередбачуваних ситуацій. А САУРП вищих рівнів автоматизації GoA3 та GoA4 дозволяють знизити рівень можливості настання несприятливих наслідків від впливу людського фактору.

По-друге, система дозволяє оптимізувати виконання графіків руху поїздів, розрахованих на підставі нормативів з організації й безпеки руху поїздів (регламент їх роботи та Правила технічної експлуатації розміщені в Наказі Міністерства транспорту України «Про затвердження нормативно-правових актів з питань безпеки руху на метрополітенах України» від 04.11.2003 № 854 [44]). Рух поїздів за графіком сьогодні забезпечується чіткою організацією й виконанням технологічних процедур у роботі станцій, електродепо, тягових підстанцій, пунктів технічного обслуговування, диспетчерських дільниць та інших підрозділів метрополітену, а за дотриманням графіку стежать безпосередньо машиністи за допомогою електронних інтервальних годинників, що розташовані у торцях пасажирських платформ [42]. САУРП же рівнів GoA3 та GoA4 в свою чергу дозволяє ущільнити графік руху і контролювати час прибуття і відправлення поїздів з одночасним збереженням дистанції між поїздами і підтримкою необхідної швидкості, як в години пік так і в інший час, завдяки

використанню спеціальної апаратури та обладнання в поїзді та центрі управління поїздами.

По-третє, САУРП рівнів GoA3 та GoA4 дозволяє підвищити рівень комфорту під час поїздки через контроль за плавністю руху за допомогою визначення оптимального алгоритму набрання швидкості, що зменшує вірогідність набору швидкості ривками та різкого гальмування.

По-четверте, САУРП рівнів GoA3 та GoA4 передбачає негайне автоматичне реагування на збої в русі чи виникненні непередбачуваних ситуацій, а також розширює можливості комп'ютерного деталізованого звітування про помилки чи збої, що дозволяє в майбутньому накопичувати деталізовані дані для подальшого прописування алгоритмів дій системи в різних ситуаціях.

По-п'яте, через те, що всі функції покладені на систему і залучення персоналу зводиться до мінімуму, використання САУРП рівнів GoA3 та GoA4 дозволяє мінімізувати складнощі при узгодженні графіків персоналу з новим графіком обслуговування, що дозволяє швидко задовольнити запланований та незапланований попит на подачу поїздів та максимально відповідати пасажиропотоку, як в години пік так і в інший час.

По-шосте, впровадження САУРП рівнів GoA3 та GoA4 передбачає найголовніше – скорочення витрат на різних ділянках застосування системи, починаючи з витрат на персонал і закінчуючи найголовнішим - витратами на енергоресурси. Так, за даними МСГТ, впровадження САУРП рівнів GoA3 та GoA4 дозволяє зменшити енергоспоживання на 10-15% завдяки оптимізації розкладів руху та безпосереднього контролю за рухом (уникнення різких ривків при набранні швидкості, різких гальмувань тощо), що дозволяє зменшити пікові навантаження на енергосистему. Для порівняння, існуючий технічний стан вітчизняного рухомого складу, пристроїв та устаткування має наслідком те, що рівень споживання електроенергії вітчизняним метрополітемом в 10-12 разів перевищує рівень використання електроенергії метрополітемом в розвинених країнах [41].

Однак, поруч із можливостями, що з'являються в результаті впровадження САУРП вищих рівнів автоматизації, варто окреслити і загрози, які супроводжують даний процес. В даному випадку загрози в більшості розуміються як складнощі і перепони для їх впровадження в існуючих умовах. Так, першою і ключовою загрозою-перешкодою є те, що більшість існуючих систем все ще не готові до масштабного переходу на САУРП вищих рівнів, оскільки це передбачатиме додаткові великі стартові витрати на переобладнання існуючих систем для відповідності рівням GoA3 та GoA4. До того ж необхідне перенавчання персоналу для їх роботи із САУРП рівнів GoA3 та GoA4 та дистанційною системою керування і реагування на непередбачувані ситуації.

Наступним моментом є те, що більшість одиниць рухомого складу (особливо на пострадянських теренах) є технологічно застарілою для впровадження САУРП високих рівнів. Тобто поїзди повинні бути адаптованими та забезпеченими системами контролю, можливістю обмеження та розширення функцій машиніста, системами виявлення небезпеки, наприклад: виявлення диму/вогню у вагонах та на шляху прямування поїзду, виявлення по сторонніх предметів на шляху особливо у зонах підвищеного ризику (таких як під'їзні станції) тощо.

Ще однією із загроз, яка є фактором зовнішнього середовища є те, що оскільки присвоєння рівня автоматизації відбувається лише на основі відповідності впроваджених систем вимогам стандартів, прийнятих на європейських теренах, то відповідно технології, які впроваджуються і їх обслуговування повинно здійснюватись лише визначеними МСГТ постачальниками, які пройшли відповідну сертифікацію та погодження. Звідси впливає проблема неможливості вибору інших постачальників, що за інших рівних умов може бути значно дешевшим порівняно із тим, який кошторис виставляють сертифіковані постачальники.

Однак, поруч із існуванням вищезазначених перешкод і загроз, активне впровадження САУРП рівнів GoA3 та GoA4 все ж таки є виправданим, що

підтверджується масштабами та кількістю ліній, де дані системи вже встановлені в країнах Європи, Азії та США. Так, за даними МСГТ станом на кінець 2019 року повністю автоматизовані САУРП рівнів GoA3 та GoA4 використовуються 30-ма країнами на більш ніж 70 лініях, а їх загальна протяжність складає більше 1 500 км (див. таблиця 3.2. та Додаток Б) [35; 38].

Таблиця 3.2

Перелік країн із повністю автоматизованими САУРП рівнів GoA3 та GoA4

Регіон	Країна	Кількість ліній, на яких впроваджено	Країна	Кількість ліній, на яких впроваджено
Рівень автоматизації GoA4			Рівень автоматизації GoA3	
Країни Північної Америки	Бразилія	4	Бразилія	6
	Канада	4	США	1
	Чилі	2		
	Мексика	1		
	США	32		
	Венесуела	1		
Країни Азії	Материковий Китай	5	Материковий Китай	4
	Гонг Конг	3	Індонезія	1
	Індія	3	Японія	1
	Японія	9	Сингапур	1
	Макао	1		
	Малайзія	6		
	Пакистан	1		
	Катар	4		
	Саудівська Аравія	3		
	Сингапур	10		
	Південна Корея	12		
	Тайвань	3		
	Турція	2		
	ОАЕ	6		
Країни Європи	Данія	4	Болгарія	1
	Франція	13	Угорщина	1
	Німеччина	6	Іспанія	1
	Угорщина	1	Велика Британія	1
	Італія	8		
	Іспанія	3		
	Швейцарія	2		
	Велика Британія	4		
Країни Океанії	Австралія	2		

Джерело: складено автором за даними [35; 38]

Однією з останніх ліній, що були відкриті на базі системи рівня GoA4, є лінія М4 в Копенгагені, що була відкрита 28 березня 2020 року, яка наразі налічує

39 станцій, і, як очікується, зможе перевозити понад 120 мільйонів пасажирів на рік [38].

Якщо порівнювати за регіонами, то статус світового лідера за рівнем автоматизації САУРП в метрополітені, безперечно, належить країнам Азії: 50% довжини колій метрополітену складають повністю автоматизовані лінії. На другому місці знаходиться Європа – 30% повністю автоматизованих ліній. Далі за ними йдуть США та Близький Схід – 11% та 8% відповідно. На останньому місці знаходяться країни Латинської Америки, де автоматизовані лінії складають лише 1% загальної протяжності колій (див. рисунок 3.4).

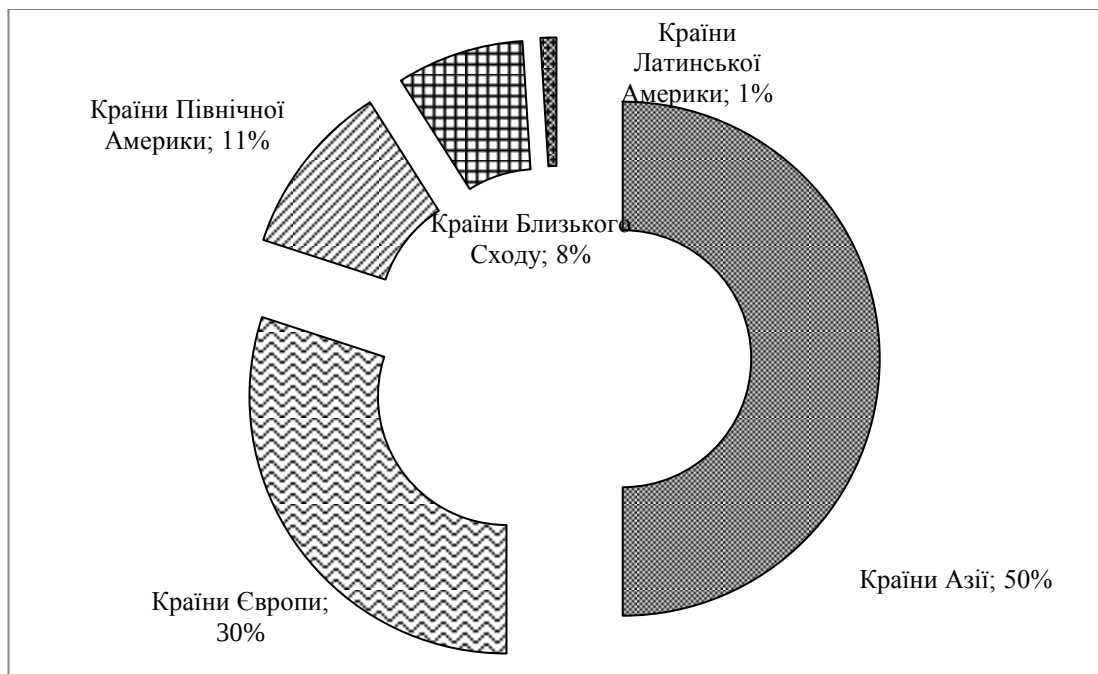


Рисунок 3.4 – Розподіл повністю автоматизованих ліній метрополітену за регіонами, %

Таким чином, оптимізація існуючих САУРП на основі підвищення рівня автоматизації є безумовною необхідністю з огляду на існуючі рівні навантаження та пасажиропотоків, а також технологічного рівня безпеки на лініях вітчизняного метрополітену, а позитивний досвід такої оптимізації із підвищенням рівнів автоматизації систем до GoA3 та GoA4 в розвинених країнах світу створює передумови для аналізу та оцінки перспектив такої оптимізації в Україні.

3.2 Ідентифікація цільових критеріїв оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів у КП «Київський метрополітен»

Впровадження повністю автоматизованих САУРП, які, як вже було зазначено, являть собою систему дистанційного управління рухом поїзду із єдиного контрольного управлінського центру із застосуванням телекомунікаційних технологій, що забезпечує безпечний процес рушення-гальмування, прицільну зупинку на станціях, відкривання-закривання дверей та відправлення поїзду зі станції за рахунок засобів автоматики за мінімальної участі персоналу або ж навіть за його відсутності, на сьогодні визнано найбільш ефективним методом оптимізації існуючих систем автоматизованого управління рухом поїздів.

Перевагою та безумовним аргументом на користь таких систем є те, що вони дозволяють абсолютно точно визначати місцезнаходження поїзду на лінії, контролювати відстань між поточним і наступним поїздами шляхом безперервної передачі даних, статусу та розрахунків швидкості, напрямку руху та гальмівного шляху в умовах реального часу каналами зв'язку, що дозволяє забезпечити вищий рівень безпеки та ефективності руху. Отримані дані дають змогу здійснювати розрахунки і вираховувати області, що потенційно зайняті поїздами на кожний момент часу, а також допомагають колійному обладнанню визначати точки на лінії, які ніколи не повинні бути пересіченими іншими поїздами, що знаходяться на цій лінії. Інформація про ці точки постійно автоматично передається на бортовий комп'ютер кожного поїзда, що дозволяє здійснювати постійне коригування швидкості відповідно до вимог безпеки руху. Тобто на комп'ютер постійно надходять дані щодо відстані до поїзду що знаходиться попереду і він, в свою чергу, корегує рух поїзду, на якому він встановлений.

Для КП «Київський метрополітен» встановлення таких систем із вищим рівнем автоматизації має наслідком ряд переваг, однак найголовнішою з них є

вирішення існуючих проблем метрополітену, а саме: забезпечення безперебійності та стабільності пасажирських перевезень із зростаючим рівнем навантаження із дотриманням вимог до безпеки руху. Сьогодні вирішення цієї проблеми здійснюється із значним залученням персоналу різних служб, тобто присутній значний вплив людського фактору. І хоча сьогодні і досі ведеться полеміка щодо надійності САУРП вищих рівнів автоматизації, високий рівень безпеки руху, що забезпечує система вже неодноразово протестовано на найбільш завантажених лініях метрополітенів світу, що було зазначено у попередньому підрозділі.

Грунтуючись на світовому досвіді підвищення рівня автоматизації САУРП у метрополітенах можна виокремити ряд ключових моментів, які можуть бути кількісно і якісно покращені у КП «Київський метрополітен» (див. таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Порівняльна характеристика функціонування КП «Київський метрополітен» та повністю автоматизованих метрополітенів світу

Характеристика	КП «Київський метрополітен»	Метрополітен із САУРП рівнів GoA3 та GoA4	Відсоток оптимізації (порівняльний)
Порівнювані показники			
Мінімальний інтервал між поїздами метрополітену, сек	95	75-80	11-17%
Середня пропускна здатність ліній, пп/год	33-38	до 48-50	13-21%
Персонал, що обслуговує лінію, % персоналу	100%	30-40% від усього персоналу	-
Площа службових приміщень, де розміщуються обладнання САУРП, % площ	100%	20%	80%
Цільові орієнтири			
Рівень надійності роботи САУРП вищих рівнів автоматизації під час збоїв	+ 3-5%		
Економія енергоресурсів за рахунок оптимальних режимів управління	до 5%		
Рівень витрат на оснащення і оновлення бортових комп'ютерів порівняно із будівництвом нової світлофорної сигналізації	в 2-3 рази нижче		
Витрати на експлуатацію і обслуговування стану рухомого складу	на 5-12% нижче		

Джерело: складено автором за даними [38]

З таблиці 3.3 зрозуміло, що підвищення рівня автоматизації САУРП має переваги економічного, безпекового та експлуатаційного характеру. Так, якщо сьогодні мінімальний інтервал між потягами КП «Київський метрополітен» складає 95 секунд, то із впровадженням САУРП вищий рівень цей інтервал можна скоротити до 75-80 секунд (залежно від перегонів, ухилів колій, їх кривизни тощо), тобто на 11-17%. У свою чергу скорочення мінімального інтервалу між поїздами має наслідком підвищення рівня пропускної здатності на лінії, які сьогодні дорівнюють 33 пп/год. на Сирецько-Печерській лінії та 38 пп/год. на Оболонсько-Теремівській та Святошинсько-Броварській лініях. Так, підвищення рівня автоматизації дозволяє збільшити резерв пропускної здатності до 48-50 пп/год за інших рівних умов. Сьогодні максимальна пропускна здатність на лінії метрополітену Гонконгу, де впроваджена САУРП рівня GoA4, дорівнює 50 пп/год [38].

Підвищення рівня автоматизації САУРП, як і в будь-якій іншій сфері, має наслідком скорочення чисельності персоналу, а в рамках метрополітену – це скорочення чисельності персоналу служб рухомого складу та сигналізації. І хоча скорочення персоналу є непопулярним заходом для підприємства, однак частина робітників даних служб з огляду на свою спеціалізацію можуть бути перекваліфіковані на персонал, що обслуговує та контролює роботу безпосередньо системи.

Впровадження систем найвищого рівня автоматизації (GoA4) передбачає повну відмову від використання світлофорної сигналізації. За таких умов витрати на оснащення і експлуатацію рухомого складу з новим сучасним обладнанням безпеки є в 2-3 рази нижчими за витрати на будівництво та обслуговування світлофорної сигналізації [48]. Більш того, навіть за умов несправності поїзда, контроль за його слідуванням в депо повністю покладається на систему, а точніше на бортовий комп'ютер, яким керує САУРП. Тобто необхідність використання світлофорів зводиться до мінімуму (а в окремих випадках до нуля).

Окрім вищезазначеного, використання бортового комп'ютера, яким керує САУРП, дозволяє знизити експлуатаційні витрати завдяки вбудованій системі діагностики, яка дозволяє здійснювати обслуговування приладів безпеки та автоматичного управління за принципом «перевірки їх стану», а не за графіком, як це відбувається сьогодні.

Підвищення рівня автоматизації САУРП за інших рівних умов, як свідчать результати досліджень Обсерваторії автоматизованих метрополітенів, дозволяє знизити рівень витрат на енергоресурси до 5% за рахунок налаштування оптимальних умов руху поїздів. Більш того, доведено, що за регулярністю та надійністю руху, експлуатаційною технологією та відсутністю збоїв в роботі системи САУРП рівнів GoA3 та GoA4 мають переваги над своїми аналогами (напівавтоматичними системами) на 3-5% [13].

Крім того, для них є характерними розширення можливостей оперативного управління графіком руху поїздів, в тому числі під час збоїв та їх введення/виведення на лінію. Зараз же ці функції у КП «Київський метрополітен» повністю покладені на машиністів та диспетчера: вони здійснюють контроль за прибуттям / відправкою поїзду на станціях, а також беруть на себе функції управління під час екстрених ситуацій.

Аналізуючи готовність підвищення рівня автоматизації існуючих САУРП у КП «Київський метрополітен» варто більш детально зупинитись на перепонах, що можуть гальмувати цей процес. Як було виявлено у попередньому підрозділі під час проведення SWOT-аналізу, на даний процес значний вплив мають внутрішні недоліки системи функціонування підприємства, а також зовнішні фактори у вигляді невідповідності існуючих систем та нормативних документів тим, що визнані та стандартизовані у світі. Так, ключовою перепорою є відсутність нормативної бази та невідповідність діючих документів вимогам стандарті МСГТ. Окрім того, для частини поїздів КП «Київський метрополітен» простого оновлення обладнання рухомого складу буде недостатньо. Значних капіталовкладень потребує оновлення обладнання для прийому та обробки

сигналів систем безпеки для допоміжного та господарського рухомого складу, а також для додаткового обладнання та систем управління на станціях.

Однак не дивлячись на вищеперераховані перешкоди ми зупиняємось на думці, яку підтримує значна кількість вітчизняних науковців та фахівців галузі, що підвищення рівня автоматизації САУРП КП «Київський метрополітен» є необхідним та виправданим кроком для вирішення існуючих проблем та викликів сьогодення. Цей крок в перспективі матиме позитивний вплив у загальному на обсяг та якість пасажирських перевезень, а також на фінансово-економічну діяльність підприємства за рахунок скорочення певних статей витрат.

Узагальнюючи вищевикладене, вважаємо доречним проаналізувати можливі наслідки оптимізації САУРП у КП «Київський метрополітен» на основі критеріального показника оптимізації, який на нашу думку є ключовим в рамках даного напрямку дослідження, а саме показника пропускної здатності. Обрання даного показника обмовлено тим, що ключовою метою оптимізації САУРП із впровадженням вищих рівнів автоматизації є підвищення пропускної здатності, що матиме наслідком зниження пікових навантажень на лінії у години пік із забезпеченням необхідного рівня безпеки та комфорту пасажирських перевезень.

Пропускна здатність (ПЗ) – це найбільша кількість пар поїздів, що може пройти по лінії за одиницю часу, зазвичай за годину [6, с. 32]. Варто додати, що розрізняють необхідну (ПЗ, що забезпечує прохід заданої кількості поїздів), наявну (ПЗ, що може бути реалізована на лінії без капітальних ремонтів та оновлень) та проектну пропускну здатність (ПЗ, що може бути досягнена за умов певних реконструкцій, оновлень та будівельних заходів: оновлення САУРП, підвищення потужності енергосистеми, впровадження нових САУРП).

Згідно ДБН В.2.3-7:2018 максимальну пропускну здатність ліній метрополітену сьогодні слід приймати на рівні 40 пп/год, а розрахункову пропускну здатність лінії з обладнанням, мережами електроживлення та САУРП приймають на 20% вище максимальної [37]. Отже, теоретично резерв для підвищення рівня пропускної розрахункової здатності у КП «Київський

метрополітен» є, і проектна пропускна здатність за рахунок підвищення рівня автоматизації САУРП може бути і вищою за максимальну встановлену ДБН. Однак проаналізуємо все за порядком.

Пропускную здатність можливо розрахувати за формулою [50]:

$$ПЗ = \frac{T}{I_c}, \quad (3.1)$$

де, ПЗ – пропускна здатність, пп/год;

T – одиниця часу (година), 3600 сек;

I_c – інтервал часу між поїздами на перегоні/станції, сек;

Прийнято розрізняти пропускную здатність перегону та станції. Зазвичай друга є нижчою, і відповідно різняться формули для розрахунку.

Інтервал часу між поїздами на перегоні розраховується за формулою [50]:

$$I_c = t_c + t_{сг} + t_{бд} + t_{зд} + t_{спсцб} + t_{п} + t_{рез}, \quad (3.2)$$

де, t_c – час сприйняття сигналу локомотивною бригадою, с. Приймають як 2 сек;

$t_{сг}$ – час на службове гальмування, за який поїзд проходить відстань від початку гальмування до світлофору, що змінив колір із забороненого на дозвільний, с;

$t_{бд}$ – час проходження блок-ділянки, с;

$t_{зд}$ – час проходження захисної ділянки, с;

$t_{спсцб}$ – час спрацювання приладів СЦБ з моменту виходу поїзда із захисної ділянки до відкриття світлофору (в середньому 3 сек), с;

$t_{п}$ – час, необхідний для того, щоб поїзд вийшов за межі ділянки, рівної довжині поїзда, с;

$t_{рез}$ – резерв часу горіння дозвільного сигналу світлофору (близько 15 сек), с.

Інтервал часу між поїздами на станції розраховується за формулою [50]:

$$I_c = t_c + t_{ct} + (t_{підх} + t_{зуп} + t_{вих}) + t_{спсцб} + t_{п} + t_{рез} \quad (3.3)$$

де, $t_{підх}$ – час на проходження поїзду від вхідного світлофору до повної зупинки на платформі, с. Приймають на рівні 18-21 сек;

$t_{зуп}$ – час зупинки на станціях, с. Дорівнює 10-20 сек і залежить від рівня дотримання графіку руху;

$t_{вих}$ – час з моменту рушення поїзду зі станції до виходу із захисної ділянки за вихідним світлофором (близько 35 сек), с;

$t_{рез}$ – резерв часу горіння дозвільного сигналу світлофору з урахуванням неточності руху поїзду (близько 5 сек), с.

Сьогодні головною задачею, як свідчить практика, є приведення пропускної здатності на станціях до рівня пропускної здатності на перегоні. Для цього сьогодні реалізовані наступні заходи:

- скорочення довжини захисної ділянки, або ж приведення її довжини до довжини блок-ділянки;
- встановлення систем контролю швидкості руху поїздів, що уходить зі станції;
- контроль швидкості поїздів, що прибувають на станцію;
- встановлення обмежень швидкості на підході до станції;
- встановлення жорстких режимів ведення поїзду;
- скорочення часу спрацювання приладів СЦБ;
- встановлення раціональних, а не максимальних швидкостей руху, що дозволяє зменшити гальмівний шлях.

Тобто, для мінімізації розбігу в інтервалах часу між поїздами на перегоні та станціях наразі застосовуються різні методи та схеми залежно від конкретного перегону, ситуації та станції. Тоді як за умов підвищення рівня автоматизації САУРП це можливо зробити набагато простіше та оперативніше. Інтервал руху може бути скорочений за рахунок елементарної відмови від встановлення світлофорів і встановлення замість них бортових комп'ютерів. За рахунок цього

значно скорочується час на спрацювання та сприйняття сигналів (реагувати на сингали буде комп'ютер), а також проходження блок-ділянок, інформування про що також здійснюється за рахунок зміни світлофорних сигналів.

Враховуючи існуючий інтервал руху між поїздами, що встановлений та діє сьогодні (95 сек) розрахуємо резерви для підвищення рівня пропускної здатності ліній КП «Київський метрополітен» на основі врахування таких припущень:

- підвищення рівня автоматизації САУРП має наслідком зменшення часу на сприйняття сигналів локомотивною бригадою через зменшення кількості світлофорів і передачі сигналів одразу на бортовий комп'ютер;
- встановлення чітко регламентованої системи інтервального руху поїздів вищого рівня автоматизації має наслідком скорочення резерву часу горіння дозвільного сигналу світлофору, що враховує неточності руху;
- встановлення чітко регламентованої системи інтервального руху поїздів вищого рівня автоматизації має наслідком скорочення часу зупинки на станціях, оскільки стає відсутньою необхідність у резерві часу на коригування для дотримання графіку руху;
- встановлення системи автоматичного регулювання швидкості (АРШ) вищого рівня автоматизації дозволяє встановити раціональні рівні швидкості на перегонах, які не є максимальними, однак є найбільш оптимальними для здійснення плавного та швидшого службового гальмування за менший проміжок часу;
- встановлення бортових комп'ютерів для вищих рівнів автоматизації САУРП має наслідком скорочення часу спрацювання приладів СЦБ з моменту виходу поїзда із захисної ділянки (до 1 сек);

Так, за умов підвищення рівня автоматизації існуючих САУРП на КП «Київський метрополітен» ключовим резервом для підвищення рівня пропускної здатності ліній є скорочення інтервалу часу між поїздами, що здійснюється за рахунок скорочення часу на зайві маніпуляції, що характерні для напіваавтоматичних САУРП та ручних систем автоведення.

Так, розклавши формули інтервалів часу між поїздами на перегоні та на станціях на складові, і проаналізувавши можливі скорочення резервів часу, вважаємо, що за рахунок підвищення рівня автоматизації САУРП можливо скоротити існуючий мінімальний інтервал між поїздами метрополітену на 10-20 секунд залежно від рівня автоматизації. Звідси пропонуємо розрахувати проектну пропускну здатність на лініях КП «Київський метрополітен» за рахунок скорочення інтервалів на 10 та 20 секунд.

Для здійснення розрахунків будемо враховувати існуючу максимальну пропускну здатність на лініях метрополітену, яка становить 33 та 38 пп/год, а отже мінімальний інтервал руху за таких умов становить:

- на Святошинсько-Броварській та Оболонсько-Теремківській лініях:

$$I_c = \frac{3600}{38} = 94,74 \text{сек}$$

- на Сирецько-Печерській лінії:

$$I_c = \frac{3600}{33} = 109 \text{сек}$$

Звідси, скорочення інтервалів між поїздами на 10 секунд дозволить підвищити пропускну здатність на Святошинсько-Броварській та Оболонсько-Теремківській лініях до:

$$ПЗ_{np(10)} = \frac{3600}{(94,74 - 10)} = 42,48 \approx 42 \text{пп / год}$$

і на Сирецько-Печерській лінії до:

$$ПЗ_{np(10)} = \frac{3600}{(109 - 10)} = 36,36 \approx 36 \text{пп / год}$$

Скорочення інтервалів між поїздами на 20 секунд дозволить підвищити пропускну здатність на Святошинсько-Броварській та Оболонсько-Теремківській лініях до:

$$ПЗ_{np(20)} = \frac{3600}{(94,74 - 20)} = 48,16 \approx 48 \text{ поїздів / год}$$

і на Сирецько-Печерській лінії до:

$$ПЗ_{np(20)} = \frac{3600}{(109 - 20)} = 40,44 \approx 40 \text{ поїздів / год}$$

Отримані результати занесені до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Існуюча та проектна пропускна здатність ліній КП «Київський метрополітен»

Лінія	Існуюча максимальна пропускна здатність	Проектна пропускна здатність лінії за рахунок скорочення інтервалу між поїздами на 10 сек	Проектна пропускна здатність лінії за рахунок скорочення інтервалу між поїздами на 20 сек
Святошинсько-Броварська лінія	38	42	48
Оболонсько-Теремківська лінія	38	42	48
Сирецько-Печерська лінія	33	36	40

Джерело: розраховано автором

Варто зазначити, що підвищення рівня автоматизації до максимальної GoA4 дозволяє скорочувати мінімальну відстань між поїздами, що курсують по лінії до мінімуму, залишаючи лише розрахункову відстань гальмівного шляху, що в свою чергу дозволяє ще скоротити інтервал часу між поїздами і тим самим підвищити рівень пропускну здатності. Однак це може бути покладено в основу іншого дослідження, оскільки потребує більш детальних розрахунків технічного характеру, які стосуються безпосередньо технічних характеристик поїздів, колії, приладів сигналізації та інформування, автоблокування, автостопів та ін..

Таким чином, оптимізація САУРП на основі підвищення рівня їх автоматизації створює можливість для зменшення інтервалів між поїздами за

рахунок виявлених резервів часу на 10 секунд, що в свою чергу дозволяє підвищити пропускну здатність до 36 та 42 пп/год, а при зменшенні на 20 секунд можливо підвищити пропускну здатність до 40 та 48 пп/год зі інших рівних умов.

3.3 Оцінка впливу запропонованих заходів на ключові показники стану пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен»

Як було визначено у попередніх підрозділах, оптимізація САУРП на основі підвищення рівня їх автоматизації має наслідком збільшення рівня пропускну здатності ліній метрополітену, що реалізується за рахунок виявлення та розрахунку резервів часу, що в умовах ручного та напівавтоматичного управління витрачається на зайві та резервні маніпуляції для дотримання графіків руху. Відзначимо також, що таке підвищення пропускну здатності ні в якому разі не здійснюється за рахунок нехтування правилами на вимогами до рівня безпеки пасажирських перевезень, оскільки будь-яка оптимізація в метрополітені у першу чергу спрямована на забезпечення високого рівня безпеки руху.

Переваги від підвищення рівня автоматизації існуючих САУРП, які були виявлені у розвинених країнах, а також можливі наслідки таких дій в Україні повинні піддаватись адекватній і критичній оцінці, оскільки оптимізація і впровадження будь-яких змін тягне за собою настання певних якісних та динамічних ефектів. Саме тому важливим є розуміння впливу змін на кількісні та якісні показники пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен», що в подальшому сприятиме виявлення динамічних зв'язків та їх стійкості (в разі існування) між показниками.

В контексті оцінки стану пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен» ключовими показниками на нашу думку є пасажирооборот (П), середньогодинний обсяг перевезень на станцію ($Q_{Гсер}$), середньогодинний

піковий обсяг перевезень у двох напрямках ($Q_{Пmax}$) та середній обсяг перевезень пасажирів на 1 станцію (ППс). Показником, який на нашу думку найбільш повно відображає результат від підвищення рівня САУРП у даному напрямі дослідження є показник пропускної здатності лінії (ПЗ).

Для оцінки рівня залежності між рівнем автоматизації, який уособлює в собі показник пропускної здатності, та показниками перерахованими вище, проаналізуємо зв'язок між ними за період 2016-2019 рр. Здійснимо це шляхом проведення кореляційного аналізу, який являє собою статистичне дослідження (стохастичної) залежності між випадковими величинами [18].

У результаті проведеного кореляційного аналізу за допомогою програмного забезпечення Statistica 10 встановлено тісноту зв'язку між досліджуваними показниками окремо для Святошинсько-Броварської, Оболонсько-Теремківської та Сирецько-Печерської лінії (див. таблиця 3.5)

Таблиця 3.5

Кореляційні зв'язки між показниками стану пасажирських перевезень та пропускною здатністю у 2016-2019 рр.

Лінія	П	$Q_{Гсер}$	$Q_{Пmax}$	ППс
Коефіцієнт кореляції				
Святошинсько-Броварська лінія	0,9863574	0,9633706	0,9633706	0,5768208
Оболонсько-Теремківська лінія	0,9963069	0,9949659	0,9949659	0,9488474
Сирецько-Печерська лінія	0,8695355	0,8695355	0,8695355	0,3698001
Коефіцієнт детермінації				
Святошинсько-Броварська лінія	0,972901	0,928082	0,928082	0,332722
Оболонсько-Теремківська лінія	0,992628	0,989957	0,989957	0,900311
Сирецько-Печерська лінія	0,756092	0,756092	0,756092	0,136752

Джерело: розраховано автором

У таблиці 3.5 добре прослідковується прямий суттєвий зв'язок між показниками, однак як можна побачити коефіцієнт кореляції для різних ліній є відмінним. Так, суттєвий прямий зв'язок існує між показником пропускної здатності та пасажирообороту по всіх лінії, разом з тим ступінь зв'язку дещо різниться: найвище значення коефіцієнту кореляції характерне для Оболонсько-Теремківської лінії (0,99), на другому місці знаходиться Святошинсько-

Броварська лінія (0,98) і найнижчий зв'язок у порівнянні між показниками характерний для Сирецько-Печерської лінії (0,86). Ступінь тісноти зв'язку, а точніше те на скільки результативний показник залежить від факторного демонструє коефіцієнт детермінації. Так, обсяг пасажирообороту на 99% залежить від обсягу пропускної здатності на Ололонсько-Теремківській лінії, на 97% на Святошинсько-Броварській і на 75,6% на Сирецько-Печерській лініях.

Аналогічна ситуація із показниками середньогодинного обсягу перевезень на станцію та середньогодинним піковим обсягом перевезень у двох напрямках: найвищий ступінь зв'язку між ними та показником пропускної здатності так само спостерігається на Оболонсько-Теремківській лінії. Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,99. За нею йдуть Святошинсько-Броварська лінія із коефіцієнтом кореляції 0,96 та найменший зв'язок спостерігається на Сирецько-Печерській лінії 0,86.

Найбільш цікавий зв'язок спостерігається між показником пропускної здатності та середнім обсягом перевезень пасажирів на 1 станцію. Найвище значення коефіцієнту кореляції між ними характерне для Оболонсько-Теремківської лінії (0,95), тоді як найменший ступінь зв'язку можна спостерігати на Сирецько-Печерській лінії (0,36). Таке низьке значення коефіцієнту кореляції свідчить про те, що зв'язок між показниками є незначним (чим ближче коефіцієнт до 0 тим менша тіснота зв'язку). Підтвердженням цього є значення коефіцієнту детермінації, який свідчить що середній обсяг перевезень пасажирів на 1 станцію лише на 13,6% залежить від пропускної здатності лінії. Для Святошинсько-Броварської, найбільш завантаженої лінії, ступінь зв'язку між середнім обсягом перевезень пасажирів на 1 станцію та пропускною здатністю є середнім (0,57), а залежність результативного показника від факторного складає лише 33%.

Існування таких відмінностей у визначених взаємозв'язках для різних ліній КП «Київський метрополітен» обумовлений неоднаковими наслідками від підвищення рівня автоматизації САУРП та швидкістю настання очікуваних або неочікуваних наслідків від її впровадження. Тобто виходячи з табл. 3.3.1 можна

зробити висновок, що збільшення пропускної здатності на лінії матиме прямий суттєвий вплив на обсяг пасажирообороту на лініях, а також на середньогодинні обсяги перевезень. В той же час середній обсяг пасажирів на станцію в результаті підвищення рівня пропускної здатності не змінюватиметься в такій залежності як в ситуації із попередніми показниками. Виключенням є Оболонсько-Теремківська лінія, де зв'язок між пропускною здатністю та середнім обсягом перевезень пасажирів на 1 станцію є найвищим (0,95).

Для оцінювання взаємозв'язку показника пропускної здатності та основних показників стану пасажирських перевезень у динаміці у таблиці 3.6 показано результати аналізу їх відносного приросту у період 2016–2019 рр.

Таблиця 3.6

Середній відносний приріст показників у 2016–2019рр., %

Лінія	$\Delta ПЗ$	$\Delta П$	$\Delta Q_{Гссер}$	$\Delta Q_{Птах}$	$\Delta ППс$
Святошинсько-Броварська лінія	0,26	0,18	0,46	0,46	0,57
Оболонсько-Теремківська лінія	2,70	3,60	3,88	3,88	1,05
Сирецько-Печерська лінія	1,52	3,80	3,80	3,80	0,46

Джерело: розраховано автором

Так, для Святошинсько-Броварської лінії збільшення пропускної здатності на 0,26% супроводжувалось одночасним збільшенням пасажирообороту на 0,18%, середньогодинного обсягу перевезень на станцію та середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках на 0,46% та середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію на 0,57%.

Для Оболонсько-Теремківської лінії збільшення пропускної здатності на 2,7% супроводжувалось одночасним збільшенням пасажирообороту на 3,6%, середньогодинного обсягу перевезень на станцію та середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках на 3,88% та середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію на 1,05%.

Для Сирецько-Печерської лінії збільшення пропускної здатності на 1,52% супроводжувалось одночасним збільшенням пасажирообороту, середньогодинного обсягу перевезень на станцію та середньогодинного пікового

обсягу перевезень у двох напрямках на 3,8% (тобто вдвічі швидшими темпами порівняно із відносним приростом показника ПЗ), а також середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію лише на 0,46% (більш ніж в три рази меншими темпами).

Можна зробити висновок, що для Облонсько-Теремківської та Сирецько-Печерської ліній зростання пропускної здатності супроводжується більш інтенсивним зростанням пасажирообороту, середньогодинного обсягу перевезень на станцію та середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках (у 1,5-2 рази інтенсивніше), тоді як збільшення середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію відбувається у 2,5-3 рази меншими темпами. В той же час на Святошинсько-Броварській лінії зростання пропускної здатності супроводжується більш інтенсивним темпами росту середньогодинного обсягу перевезень на станцію, середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках та середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію (майже в 2 рази інтенсивніше), тоді як обсяг пасажирообороту зростає на третину нижчими темпами.

Отже, необхідно проаналізувати значущість зв'язку між динамікою показника пропускної здатності та результативними показниками стану пасажирських перевезень шляхом побудови окремих однофакторних економіко-математичних моделей, які дозволять визначити стійкість взаємозв'язку та вплив факторного показника на результативний. Недоліком побудови таких моделей є неврахування впливу інших показників в їх взаємодії, однак, незважаючи на це, такий аналіз дає змогу дослідити загальні тенденції зміни показників, що в подальшому може бути використаним в якості підґрунтя для здійснення подальших розрахунків для прийняття управлінських рішень.

Як можна побачити з таблиці 3.7 стійкість зв'язків між зміною показника пропускної здатності та зміною результативних показників стану пасажирських перевезень є досить значною, що підтверджується значенням коефіцієнту детермінації (R^2), який майже для всіх значень перевищує 0,4. Виключенням є

зв'язок між показниками зміни ПЗ та ППС на Святошинсько-Броварській лінії: тут значення коефіцієнту детермінації дорівнює 0,05, що означає, що вплив факторного параметру (зміна ПЗ) лише на 5% пояснює зміну показника середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію, тоді як інші 95% залежить від інших факторів, що не увійшли до моделі (див. таблиця 3.7).

Таблиця 3.7

Аналіз взаємозв'язку динаміки показника пропускної здатності та окремих показників стану пасажирських перевезень

Лінія	R	R ²	F	Регресійне рівняння впливу ПЗ на зміну показники стану пасажирських перевезень
Пасажирооборот (П)				
Святошинсько-Броварська лінія	0,994554	0,989137	0,0664726	$Y=0,03104+0,20215 \cdot x$
Оболонсько-Теремківська лінія	0,997245	0,994498	0,0472643	$Y=0,03836+1,17378 \cdot x$
Сирецько-Печерська лінія	0,663866	0,440718	0,5378292	$Y=0,31352+1,87151 \cdot x$
Середньогодинний піковий обсяг перевезень у двох напрямках (QПтах)				
Святошинсько-Броварська лінія	0,989296	0,978707	0,0932291	$Y=0,11839+0,23302 \cdot x$
Оболонсько-Теремківська лінія	0,996447	0,992906	0,0536839	$Y=0,06978+1,23773 \cdot x$
Сирецько-Печерська лінія	0,663866	0,440718	0,5378292	$Y=0,31352+1,87151 \cdot x$
Середній обсяг перевезень пасажирів на 1 станцію (ППс)				
Святошинсько-Броварська лінія	0,232975	0,054277	0,8503079	$Y=0,27901+0,02716 \cdot x$
Оболонсько-Теремківська лінія	0,683849	0,46765	0,520609	$Y=-0,06664+0,24398 \cdot x$
Сирецько-Печерська лінія	0,999995	0,999989	0,0020731	$Y=-0,10069+0,55173 \cdot x$

Джерело: розраховано автором

Здійснені розрахунки та побудова регресійних рівнянь за допомогою програмного забезпечення Statistica 10 дали змогу виявити, що майже між усіма показниками є стійкі зв'язки та вплив. Так, для Святошинсько-Броварської лінії зростання показника пропускної здатності на 1% матиме наслідком збільшення пасажирообороту на 0,2%, а середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках на 0,23%.

Так, для Оболонсько-Теремківської лінії зростання показника пропускної здатності на 1% призведе до збільшення пасажирообороту на 1,17%, середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках на 1,24% та середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію на 0,24%. Однак варто

вказати, що вплив зміни показника пропускної здатності на останній аналізований є дещо меншим у порівнянні з іншими, що продемонстрував коефіцієнт детермінації, який засвідчив, що зміна результативного показника (ППс) лише на 46,7% залежить від зміни ПЗ, тоді як решта 53,3% залежить від інших факторів впливу.

Для Сирецько-Печерської лінії зростання показника пропускної здатності на 1% матиме наслідком збільшення пасажирообороту та середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках на 1,87%, а також середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію на 0,55%.

Таким чином, можна узагальнити, що збільшення пропускної здатності ліній КП «Київський метрополітен», що може бути досягнуто за рахунок підвищення рівня автоматизації САУРП матиме позитивний вплив на ключові показники стану пасажирських перевезень, що було доведено здійсненими розрахунками. Так, збільшення пропускної здатності за інших рівних умов дозволить збільшити пасажирооборот, забезпечувати безперебійні та безпечні перевезення на лінії у години пік в умовах зростаючого навантаження та зростаючої кількості пасажирів на станції.

Враховуючи існування таких зв'язків змодельємо можливі обсяги пікових навантажень та середньогодиного обсягу перевезень за умов збільшення пропускної здатності в рамках визначених у 3.2. З цією метою пропонуємо розглянути 2 варіанти-сценарії подальшого розвитку, що обумовлені підвищенням рівня автоматизації САУРП.

Перший сценарій «Адаптивний», який передбачає, що підвищення рівня автоматизації САУРП буде здійснюватись не до максимального рівня, а резерви скорочення часу в інтервалі руху між поїздами за рахунок заміни та оновлення частини обладнання та апаратури на поїздах та на постах диспетчерської централізації, сягатимуть 10 секунд за інших рівних умов. Вимоги до рівня безпеки залишаються незмінними.

Другий сценарій «Інтенсивний», який передбачає, що підвищення рівня автоматизації САУРП буде мати інтенсивно-якісний характер, і буде спрямований на досягнення максимально рівня автоматизації (аналогічний GoA4). За таких умов передбачається, що резерви скорочення часу в інтервалі руху між поїздами за рахунок заміни та оновлення обладнання та апаратури на поїздах, на постах диспетчерської централізації, на коліях і шляхах прямування поїзду, сягатимуть 20 секунд за інших рівних умов. Вимоги до рівня безпеки залишаються незмінними.

Для здійснення подальших розрахунку і моделювання можливих тенденцій за двома сценаріями будемо враховувати існуючі зв'язки між ключовими показниками, що були виявлені в результаті здійсненого аналізу. Враховуючи істотність встановлених стохастичних зв'язків, що підтверджують коефіцієнти кореляції та детермінації, спрогнозуємо потенційну динаміку ключових показників стану пасажирських перевезень. Отримані дані за двома сценаріями занесені до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Варіанти розвитку ключових показників стану пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен» за 2-ма сценаріями

Показник	Сценарій «Адаптивний»		
	Святошинсько-Броварська лінія	Оболонсько-Теремківська лінія	Сирецько-Печерська лінія
Мінімальний інтервал руху між поїздами, сек	Скорочення на 10 сек	Скорочення на 10 сек	Скорочення на 10 сек
Максимальна пропускна здатність лінії, пп/год	Збільшення до 43	Збільшення до 43	Збільшення до 36
Потенціал зростання пасажирообороту	Зростання на 2,6%	Зростання на 15,4%	Зростання на 17%
Потенціал зростання середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках	Зростання на 3%	Зростання на 16,2%	Зростання на 17%
Потенціал зростання середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію	Зростання на 0,36%	Зростання на 3,16%	Зростання на 5%

Продовження таблиці 3.8

Показник	Сценарій «Інтенсивний»		
	Святошинсько-Броварська лінія	Оболонсько-Теремківська лінія	Сирецько-Печерська лінія
Мінімальний інтервал руху між поїздами, сек	Скорочення на 20 сек	Скорочення на 20 сек	Скорочення на 20 сек
Максимальна пропускна здатність лінії, пп/год	Збільшення до 48	Збільшення до 48	Збільшення до 40
Потенціал зростання пасажирообороту	Зростання на 5,3%	Зростання на 30,7%	Зростання на 39,7%
Потенціал зростання середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках	Зростання на 6,05%	Зростання на 32,36%	Зростання на 39,6%
Потенціал зростання середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію	Зростання на 0,71%	Зростання на 6,3%	Зростання на 11,7%

Джерело: розраховано автором

Так, згідно з «Адаптивним» сценарієм, скорочення максимального інтервалу між поїздами на 10 секунд призведе до зростання пропускної здатності до 36 пп/год на Сирецько-Печерській лінії та 43 пп/год на Святошинсько-Броварській та Оболонсько-Теремківській лініях. Це в свою чергу дозволить більш ефективно обслуговувати зростаючий пасажирооборот, резерв зростання якого за рахунок підвищення рівня автоматизації САУРП може сягати +2,6% на Святошинсько-Броварській лінії, +15,4% на Оболонсько-Теремківській лінії та +17% на Сирецько-Печерській лінії. При цьому потенціал зростання середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках за інших рівних умов сягатиме +3% на Святошинсько-Броварській лінії, +16,2% на Оболонсько-Теремківській лінії та +17% на Сирецько-Печерській лінії, а середній обсяг перевезень пасажирів на 1 станцію може бути збільшений на 0,36% на Святошинсько-Броварській лінії, на 3,16% на Оболонсько-Теремківській лінії та на 5% на Сирецько-Печерській лінії.

Згідно з «Інтенсивним» сценарієм, скорочення максимального інтервалу між поїздами на 20 секунд призведе до зростання пропускної здатності до 40

пп/год на Сирецько-Печерській лінії та 46 пп/год на Святошинсько-Броварській та Оболонсько Теремківській лініях. Така тенденція дозволить безперебійно, безпечно та стабільно обслуговувати зростаючий пасажирооборот, резерв зростання якого за рахунок підвищення рівня автоматизації САУРП може сягати +5,3% на Святошинсько-Броварській лінії, +30,7% на Оболонсько-Теремківській лінії та +39,7% на Сирецько-Печерській лінії. При цьому потенціал зростання середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках за інших рівних умов сягатиме +6,05% на Святошинсько-Броварській лінії, +32,36% на Оболонсько-Теремківській лінії та +39,6% на Сирецько-Печерській лінії, а середній обсяг перевезень пасажирів на 1 станцію може бути збільшений на 0,71% на Святошинсько-Броварській лінії, на 6,3% на Оболонсько Теремківській лінії та на 11,7% на Сирецько-Печерській лінії.

Так, можна зробити висновок, що підвищення рівня автоматизації САУРП на КП «Київський метрополітен» матиме позитивний вплив на стан пасажирських перевезень, оскільки супроводжуватиметься значним зростанням потенціалу у декількох напрямках, а саме: збільшення пропускної здатності, нарощення потужностей для безперебійного та стабільного перевезення більшої кількості пасажирів (зростаючого пасажирообороту) у години «пік» та інший час, а також для обслуговування більшої кількості пасажирів на станціях без довгих очікувань поїзду та скупчення людей під час такого очікування, особливо у години «пік». Варто акцентувати увагу на тому, що такі кроки матимуть більший ефект для Оболонсько-Теремківської та Сирецько-Печерської лінії, тоді як потенціал зростання аналізованих показників на Святошинсько-Броварській лінії є значно меншим порівняно з двома попередніми. Таку ситуацію можна пояснити тим, що наразі ця лінія вже працює на межі великого навантаження і значного пасажирообороту, а підвищення рівня САУРП в даній ситуації дозволить полегшити роботу локомотивного, станційного та диспетчерського персоналу із помірним резервом подальшого зростання.

Висновок до розділу 3. Оптимізація існуючих систем управління рухом поїздів (САУРП) на основі підвищення рівня їх автоматизації повинна розглядатись як можливість вирішення існуючих проблем та поставлених задач для вітчизняного метрополітену. Такий підхід, що вже продемонстрував свою ефективність у зарубіжних країнах, заснований на методиці виявленні слабких місць існуючих систем, пошуку варіантів та механізмів підвищення рівня їх автоматизації та подальшому їх приведенні до вимог існуючих стандартів МСГТ, може бути впроваджений і в нашій країні за певних умов. Проведений SWOT-аналіз дозволив виявити можливості і загрози, що можуть супроводжувати даний процес, а також дав змогу зробити висновок, що підвищення рівня автоматизації САУРП є безумовною та альтернативно-обґрунтованою тенденцією розвитку вітчизняного метрополітену у найближчі роки.

На основі врахування світового досвіду оптимізації САУРП на основі підвищення рівня їх автоматизації у метрополітенах різних країн, встановлено, що це призведе до зміни кількісних та якісних показників стану пасажирських перевезень. Встановлено, що критеріальним показником оптимізації, що найбільш повно демонструє ефект від впровадження САУРП вищих рівнів автоматизації є показник пропускної здатності поїздів на лінії. В результаті аналізу складових формули розрахунку зазначеного показника, виявлено фактори-резерви, що впливають за його збільшення/зниження. Обґрунтовано, що зниження інтервалів між поїздами за рахунок резервів часу, які можуть вивільнитися в результаті підвищення рівня САУРП, призведуть до збільшення пропускної здатності на лініях: до 36-42 пп/год за умов скорочення інтервалу на 10 секунд та до 40-48 пп/год за умов скорочення інтервалу на 20 сек.

В результаті здійснення кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що підвищення рівня пропускної здатності лінії має значний вплив на ключові показники стану пасажирських перевезень, а саме: пасажирооборот (Π), середньогодинний обсяг перевезень на станцію ($Q_{\text{Гсер}}$), середньогодинний піковий обсяг перевезень у двох напрямках ($Q_{\text{Пmax}}$) та середній обсяг перевезень

пасажирів на 1 станцію. Визначений та проаналізований ступінь впливу зміни показника пропускної здатності на показники стану пасажирських перевезень у КП «Київський метрополітен». На основі побудови однофакторних математичних моделей взаємозв'язку проаналізовано можливі наслідки від зростання рівня пропускної здатності на ключові показники стану пасажирських перевезень в розрізі ліній КП «Київський метрополітен» за сценарним підходом. Визначено, що найбільший потенціал нарощення потужностей в результаті оптимізації САУРП на основі підвищення рівня їх автоматизації матимуть Оболонсько-Теремківська та Сирецько-Печерська лінії.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ У МЕТРОПОЛІТЕНІ В КОНТЕКСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ

Охорона праці, яка згідно визначення Закону, являє собою систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [28], є надважливим елементом у загальній системі функціонування метрополітену. Так, як відомо, для кожної зі служб та відділів КП «Київський метрополітен» розроблені суворі інструкції з охорони праці, які повинен дотримуватись кожен працівник задля забезпечення безперебійних і безпечних пасажирських перевезень.

Як вже було зазначено у попередніх розділах всі дії та заходи працівників метрополітену, які вони виконують щодня з рамках своїх посадових інструкцій для перевезення і безпеки пасажирів супроводжуються значним навантаженням. Особливо зазнають такий вплив машиністи, оскільки їх робота пов'язана із значним зоровим, психофізіологічним і розумовим навантаженням, а отже і зі значним ризиком помилок через людський фактор.

Дослідження, здійснені провідними фахівцями з МСГТ, а також окремо представниками профільних медичних організацій з США, Німеччини, Франції та Росії демонструють позитивний вплив підвищення рівня автоматизації САУРП на роботу машиністів, що доводять результати інженерно-технологічних та психофізіологічних тестувань. Одним з ключових показників, якому приділили значну увагу у даному напрямі дослідження став коефіцієнт завантаженості машиністів, що характеризує ступінь завантаженості і включає в себе обсяг інформації, що надходить і переробляється, а також кількість керуючих дій. Обсяг цих показників залежать від ряду чинників, а саме: швидкості руху, кількості

попереджувальних знаків, складності рельєфу лінії, технічного стану рухомого складу, жорсткості графіка руху. Оптимальні межі коефіцієнта завантаження з точки зору стану функціональних систем організму, що було розраховано медичним персоналом, знаходяться в діапазоні 0,3-0,6 [11].

Як відомо, у всіх машиністів із певним часом їх роботи виробляється особистий алгоритм проходження різних ділянок лінії, заснований на досвіді і розумінні принципів функціонування. Вироблений таким чином типовий алгоритм управління поїздом, обладнаним САУРП або ж за ручного управління, має свої характерні особливості, але у цілому вони досить схожі і являють собою повторювані цикли контролюючих спостережень і керуючих дій із здійсненням зворотного зв'язку, що виконуються в оптимально зручному для них порядку.

Під час проведення досліджень було встановлено, що при роботі в режимі ручного управління коефіцієнт завантаженості логічними діями машиніста при проходженні поїздом станцій перевищує допустиму величину. За таких умов завантаженість машиніста операціями контролю і управління є надзвичайно великою (коефіцієнт завантаження становить близько 0,9 при граничній верхній межі норми, розрахованої медичними працівниками, 0,6) [10].

В результаті проведення постійно повторюваних тестувань, дослідниками встановлено, що машиністи в умовах підвищеного навантаження змушені компенсувати дефіцит часу, який виникає в результаті розриву у часі через високий темп роботи, швидкі зміни локацій і сигналів приладів сигналізації та швидкістю потрібною на реагування на все це, за рахунок зниження частоти огляду контрольних приладів та частоти і якості здійснюваних ним сигнальних та звітувальних дій. За таких умов рівень ризику через неуважність і прояв людського фактору, що в рамках дослідження уособлює у собі коефіцієнт можливого настання нещасних випадків, підвищується на 5-7%. Таких відсоток є надзвичайно великим, оскільки перевезення пасажирів швидкісними видами транспорту повинні супроводжуватись мінімальним рівнем ризику, а отже система Охорони праці на підприємстві повинна бути максимально

деталізованою, структурованою, систематизованою та інтегрованою з усіма службами та відділами метрополітену.

Враховуючи вищевикладене і в результаті подальших експериментів дослідниками виявлено, що за умов підвищення рівня автоматизації САУРП, при проходженні поїзду по перегонам та станціям, можливо досягти оптимального ступеня завантаженості машиніста інформаційними, логічними і керуючими діями за рахунок зниження обсягу та кількості рутинних операцій. Це надає змогу підвищити рівень контролю технічного стану рухомого складу за рахунок більш частішого і детальнішого спостереження за показаннями приладів і зовнішнього огляду поїзду, що значно підвищує рівень безпеки руху.

Так, машиніст витрачає на зовнішнє спостереження за колією і зовнішніми сигналами при ручному управлінні 16% часу, а під час роботи САУРП даний показник зростає до 20,6%. Значна увага приділяється структурі зовнішнього спостереження за станом колії: при впровадженні САУРП вищих рівнів автоматизації на його частку відводиться 16,9% часу, а в режимі ручного управління – 10,9%. Це дозволяє машиністу оптимально розподіляти час і приділяти більше уваги зовнішній поїзній обстановці.

На внутрішній контроль при ручному управлінні припадає 19,9% часу спостереження за контрольно-вимірювальними приладами і документацією, а під час роботи САУРП даний показник цей показник знижується до 16,2%. При чому відбувається це не лише за рахунок керуючих дій, але й за рахунок зниження часу на контроль над поточними внутрішніми параметрами. При цьому відповідальність за ведення поїзда, дотримання обмежень швидкості і контроль адекватності роботи системи САУРП покладено на машиніста, який визначає необхідність спостереження в режимі автоведення за інформаційним дисплеєм системи (до 5,8% часу) [10; 11].

І хоча, як показали результати дослідження, підвищення рівня автоматизації САУРП при проходженні поїздом станцій та перегонів не має наслідком зниження рівня складності алгоритму управління в цілому, тим не менш рівень

завантаження машиніста знижується до 0,6 (тобто майже до оптимального), а ймовірність виникнення помилки при виконанні мінімально допустимого алгоритму управління знижується більш ніж в 3 рази. Таким чином, за умов підвищення рівня автоматизації САУРП, машиніст може витрачати менше часу на реагування та велику кількість сигналів та здійснення рутинних маніпуляцій, оскільки більшість з них перекладається на систему, а машиніст у свою чергу у режимі стабільно-допустимого навантаження слідує за справністю роботи системи та подає сигнали реагування в разі необхідності.

Кінцевий результат проведеного дослідження продемонстрував, що при проходженні поїздом станцій і перегонів в режимі автоведення (за умов використання САУРП вищих рівнів автоматизації) початкові ознаки втомлюваності у більшості машиністів, виходячи із встановлених та аналізованих ступеня напруги механізмів регуляції серцево-судинної системи і суб'єктивної оцінки самопочуття, активності і настрою, починають проявлятися тільки на 5-6-ій годині роботи, тоді як за умов ручного управління такі ознаки починали проявлятися набагато раніше, що зумовлювало необхідність встановлення часу відпочинку в інтервалах 2-3 або 3-4 години для здійснення безпечних перевезень пасажирів. Все це в свою чергу прописано в інструктажі з охорони праці для машиністів.

Варто також додати, що враховуючи те, що кількість робочих операцій зростає пропорційно у міру ускладнення профілю колії, використання САУРП вищих рівнів автоматизації дозволяє перерозподілити робочий час машиніста у бік активного спостереження за рахунок зниження необхідності здійснення маніпуляцій фізичного контролю руху і гальмування.

Отже, враховуючи положення статті 13 Закону України «Про Охорону праці», а точніше те, що керуючись цією статтею підвищення рівня автоматизації САУРП, варто розглядати як забезпечення роботодавцем функціонування системи охорони праці на підприємстві у розрізі впровадження прогресивних технологій, досягнень науки і техніки, засобів механізації та автоматизації виробництва,

вимог ергономіки, позитивного досвіду з охорони праці, а також забезпечення усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань, та здійснення профілактичних заходів.

Висновок до розділу 4. Таким чином, здійснення пасажирських перевезень із використанням САУРП вищих рівнів автоматизації характеризується значно меншими змінами функціонального стану організму машиністів, що позитивно впливає на загальний стан їх працездатності, що є головною метою системи охорони праці на підприємстві. Порівняльний аналіз функціонального стану організму машиністів і їх діяльності при роботі із САУРП вищого рівня автоматизації і при ручному управлінні підтвердив, що використання САУРП дозволяє продовжити стабільний рівень працездатності у середньому на 2-3 години і зменшити завантаженість машиніста під час проходження станцій і перегонів метрополітену. В такому випадку можна узагальнити, що підвищення рівня автоматизації САУРП на метрополітені може розглядатись як один із напрямків покращення умов і безпеки праці машиністів, що у свою чергу має позитивний вплив на стан і безпеку пасажирських перевезень у метрополітені у цілому.

5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА У МЕТРОПОЛІТЕНІ

Статутом КП «Київський метрополітен» визначено, що одним з основних обов'язків підприємства є виконання норм і вимог щодо охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки [34].

Так, як було зазначено у Розділі 2 даного дослідження, не дивлячись на те, що метрополітен є екологічно чистим видом міського громадського транспорту, що працює виключно за рахунок споживання електроенергії для тяги поїздів, підприємство приділяє багато уваги даному питанню і витрачає значний обсяг грошових коштів в рамках Програми заходів з питань охорони навколишнього природного середовища (далі Програми) на охорону атмосферного повітря (92,97 тис.грн у 2019 р.), водних ресурсів (887,60 тис.грн у 2019 р.), поводження з відходами виробництва і споживання (4 014,64 тис.грн у 2019 р.), ті інші заходи (1 094,58 тис.грн у 2019 р.) (див. рисунок 5.1) [34].

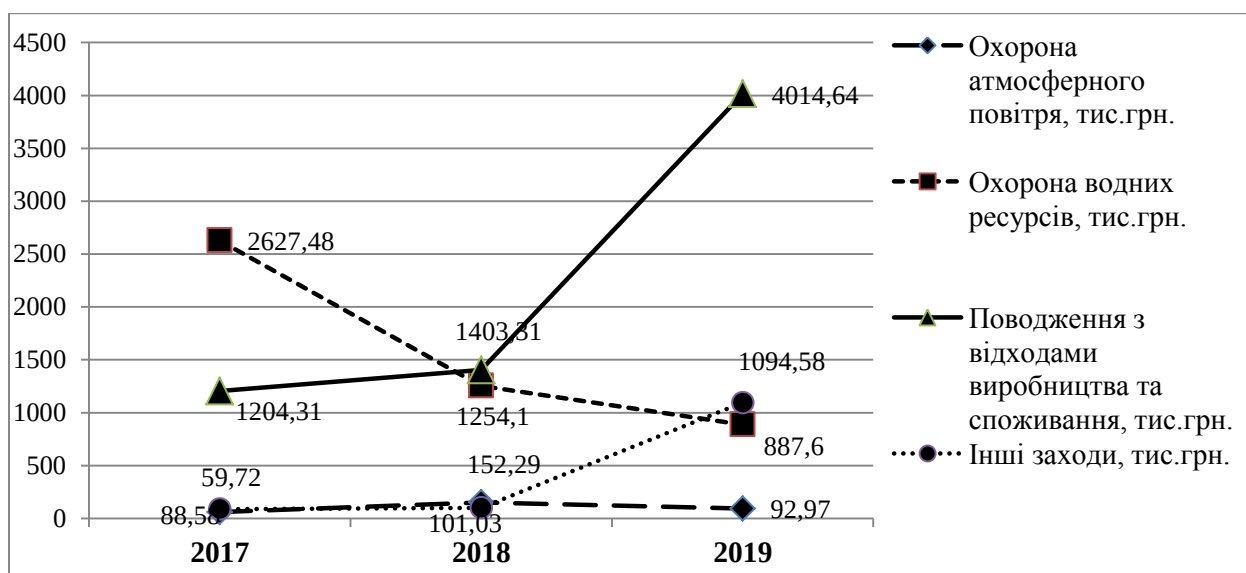


Рисунок 5.1 – Динаміка витрат на реалізацію заходів за основними розділами Програми 2017-2019 рр.

Рисунок 5.1 наглядно демонструє, що підприємство значно збільшує витрати на поводження з відходами виробництва і споживання: на 16,5% у 2018 р. порівняно із 2017 р. та на 186,08 % у 2019 р. порівняно із 2018 р. І це є не дивним, оскільки при здійсненні виробничої діяльності метрополітеном можуть виділятися такі джерел екологічної небезпеки, що є специфічними для даного підприємства:

- тверди відходи виробництва;
- забруднення природних водойм специфічними компонентами промислових стічних вод;
- шумовий і вібраційний вплив на навколишнє середовище.

Отже, першою групою є тверді відходи виробництва, які займають левову частку у структурі відходів підприємства, і які, якщо порівнювати рівень таких відходів із іншими галузями, близький за складом до підприємств машинобудування. Сумарна кількість твердих відходів, що виробляється підприємством за рік може обчислюватись десятками тон, особливо це стосується вагоноремонтних депо, а рівень їх небезпеки варіюється від I до V класу.

Так, відходи першого класу (I) містять у собі ртутні люмінесцентні лампи; відходи другого класу (II) – це в більшості відпрацьований акумуляторний луг; відходи третього класу небезпеки (III) – це відпрацьовані масла всіх видів та інші нафтопродукти, що використовуються під час експлуатації рухомого складу, а також відпрацьовані масляні фільтри, відпрацьовані свинцеві акумулятори, відпрацьовані пневматичні шини та гумо-азбестові відходи; відходи четвертого класу небезпеки (IV) – це золіві шлаки від спалювання вугілля в котельні; відходи п'ятого класу небезпеки (V) – це абразивні кола та їх лом, відходи паперу і картону від канцелярської діяльності. Різні класи відходів відповідно вимагають різного виду утилізації або ж подальшої переробки за можливістю для наступного використання. Саме тому управління відходами відіграє надзвичайно важливу роль у загальному управлінні підприємством, а відповідні функції утилізації і переробки, що не можуть бути виконані (надані) власними силами, закуповуються

КП «Київський метрополітен» відповідно до Закону України «Про публічні закупівлі» через систему електронних закупівель PROZORRO і реалізуються спеціалізованими підприємствами.

Наступною групою є відходи і забруднення стічних вод. Основними видами в даному випадку, як і для більшості підприємств залізничного транспорту, є завислі речовини мінерального і органічного походження, феноли, СПАР, важкі метали, кислоти, луги та інші забруднення. Така забрудненість стічної води утворюються при зовнішньому і внутрішньому обмиванні рухомого складу, вузлів і деталей, під час промивання і заправки акумуляторів, при охолодженні компресорів та іншого устаткування, а також при випуску води з гальванічних ванн, систем опалення вагонів й охолодження дизелів, миття підлоги у приміщеннях, пранні спецодягу тощо [46]. Такі викиди відпрацьованих рідин у каналізацію призводять до різкого та значного погіршення якісного та складу стічних вод, зокрема рівень рН зростає до позначки 10-13, що є значно негативною ситуацією. Тому в якості очисних споруд на станціях передбачені відстійники. Забруднення стічних вод з приміщень метрополітену після відстою практично не відрізняється від забруднення ґрунтових вод, що надходять до тунелів скрізь обшивку. Надалі стічні води перекачуються з відстійників в міську дощову каналізацію і з неї надходять в р.Дніпро. Якісні ж характеристики стічних вод відповідають вимогам СанПіН 4630-88 «Правил приймання поверхневого стоку у Київську міську дощову каналізацію», оскільки вплив на водне середовище характеризується як екологічно допустимий [32; 37].

Наступною, найбільш небезпечною групою викидів за параметричним підходом є викиди шумів та вібрації. У порівнянні інтенсивність цього шуму має проміжне становище між авіаційним та автомобільним рівнями шуму, а за кількістю джерел походження такий шум немає з чим порівняти: при нормативному рівні шуму, встановленому Всесвітньою організацією Охорони здоров'я (ВООЗ), 55дБА, рівень шуму, що виробляє метрополітен при швидкості руху 40 км/год дорівнює 80-85 дБА, і при кожному наступному збільшенні

швидкості на 10 км/год рівень шуму також підвищується на 3-4 дБА [34]. Шум, що виробляється метрополітенівським рухомим складом, поділяється на три категорії: проїзний шум (виробляється при контакті колеса та рейки), скрегіт (виробляється при проходженні вагонів поїзду метрополітену в кривих) і ударний шум (виробляється здебільшого від ударних навантажень на стиках рейок). Для зниження рівня шуму і вібрації наразі застосовують різні технологічні рішення, а саме: укладання довгих рейкових колій, використання гумових підрейкових прокладок та амортизуючих рейкових кріплень, укладання бетонної основи шляху на гумові прокладки, оснащення рухомого складу колесами на пневматичних шинах тощо.

Враховуюче все вищевикладене стає зрозумілим чому КП «Київський метрополітен» виділяє такі значні суми на поводження з відходами виробництва і споживання. Адже навіть попри загальну високу екологічність діяльності існують окремі напрями функціонування метрополітену, які все ж таки завдають шкоди зовнішньому середовищу та екології і тому запровадження Програми заходів з питань охорони навколишнього природного середовища є свідомим та суспільно-відповідальним кроком в умовах сьогодення.

На другому місці за рівнем витрат у загальній структурі, а також за рівнем їх приросту у 2019 році знаходяться витрати на реалізацію інших заходів, які у загальному складаються з витрат на придбання контейнерів для роздільного збирання побутових відходів; на придбання послуг з оцінки впливу на довкілля водозабору КП «Київський метрополітен»; на розробку нормативів граничнодопустимих скидів стічних вод; на придбання послуг з розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря із стаціонарних джерел та отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря [34]

Іншими напрямками охорони навколишнього середовища у КП «Київський метрополітен», яку можна сприймати як один зі шляхів модернізації у цьому руслі є покращення, оновлення та ремонт рухомого складу метрополітену. Так,

капітальний ремонт вагонів поїздів типу 81-717 / 81-714 станом на сьогодні має наслідком зниження акустичного та вібраційного навантаження, який утворюється при русі, що є значно поширеним за кордоном. Так, сьогодні значна увага метрополітенів світу приділяється модернізації рухомого складу, який поглинав би більшу частину шуму та вібрації, що має наслідком позитивний вплив на здоров'я і психологічний стан людей, які знаходяться в метро і недалеко від нього, а також на споруди, що побудовані поруч із метрополітеном неглибокого закладення.

Наступним кроком в даному напрямі на нашу думку повинна стати заміна високо-токсичних матеріалів і обладнання на екологічно безпечне і ресурсозберігаюче. Особливо річ іде про доволі поширені наразі люмінесцентні лампи, які хоча і є доволі енергозберігаючими, однак разом з тим, містять над токсичну складову – ртуть, концентрація якої в цих лампах в 10 разів перевищує гранично допустимий рівень. Саме тому їх утилізація відбувається за чітко регламентованими правилами та умовами, а їх безпосередня експлуатація згідно Технічного регламенту «Обмеження використання деяких небезпечних речовин в електричному та електронному обладнанні» (Директива 2002/95/ЄС) має відбуватись протягом певного визначеного строку і ні в якому разі не перевищувати його.

Висновок до розділу 5. Таким чином, максимальна заміна токсично-небезпечних речовин в повсякденній діяльності КП «Київський метрополітен» дозволить покращити рівень екологізації підприємства, а також зменшити обсяг викидів, які наразі класифікують на I-V рівень небезпеки, оскільки чим менше таких речовин буде використовуватись в основній діяльності тим менший рівень екологічно-небезпечних викидів буде залишатись на виході.

ВИСНОВКИ

Отже, результатом кваліфікаційної (магістерської) роботи є обґрунтування необхідності та дослідження методів оптимізації систем автоматизованого управління рухом поїздів для вітчизняного метрополітену, а також ідентифікація напрямів і критеріїв такої оптимізації. Отримані результати дослідження дали можливість дійти висновків, які характеризуються науковою новизною і можуть бути використанні в процесі прийняття управлінських рішень щодо подальшої діяльності вітчизняного метрополітену.

Так, думки більшості науковців щодо сутності системи автоматизованого управління рухом поїздів (САУРП) мають схожу точку зору, яка прослідковується у логічній канві змістовних характеристик та підходів до ідентифікації класифікаційних ознак даного явища. В результаті виокремлення таких характеристик САУРП можна визначити як систему автоматичного або частково-автоматичного керування поїздом без безпосередньої постійної участі машиніста, яка дозволяє підвищити пропускну здатність поїздів, оптимізувати графік руху та знизити витрати за рахунок впровадження систем централізації, які дають змогу одночасно керувати та корегувати дії різних служб метрополітену.

Інтенсифікація та значна швидкість процесів виникнення, становлення та розповсюдження САУРП у 70-80 роках минулого сторіччя, що було обумовлено динамічним розвитком залізниць та метрополітенів через значні темпи містобудування у багатьох країнах світу, зумовило необхідність стандартизації вимог та технологічних рішень щодо таких систем. В результаті таких заходів Міжнародним союзом громадського транспорту (МСГТ) у 2006 році були розроблені Міжнародні стандарти МЕК 62290 (із подальшим доопрацюванням у 2014 році), яких повинні дотримуватись всі країни-члени МСГТ, які мають намір впроваджувати або модифікувати існуючі САУРП для своїх метрополітенів.

Існування деяких розбіжностей у підходах щодо оцінки стану пасажирських перевезень у вітчизняній та зарубіжній науковій літературі, що значно впливає на можливість здійснення всебічного та ґрунтовного аналізу, зумовили необхідність їх систематизації та адаптації для здійснення розрахунків в рамках даного напрямку дослідження. Так, обґрунтовано, що оцінка стану пасажирських перевезень, що здійснюються на основі систем автоматизованого управління рухом поїздів, повинна здійснюватись за основі комплексного підходу із застосуванням кількісних та якісних показників, а також показників навантаження, які можуть бути використанні для прийняття рішень щодо необхідності підвищення рівня САУРП з метою зниження навантаження на лініях.

В результаті здійснених розрахунків в рамках аналізу діяльності КП Київський метрополітен», а саме: показників ліквідності, платоспроможності та фінансово-майнового стану виявлено, що підприємство має певні труднощі із платоспроможністю, а також станом активів, які присутні на підприємстві. Встановлено, що підприємство має значно застарілу матеріально-технічну базу, що підтверджено показниками зношеності більшості основних засобів та низьким рівнем їх оновлення, а дослідження стану рухомого складу показало, що 21% вагонів КП Київський метрополітен» експлуатуються більше ніж 30 років.

Визначено, що метрополітенівські перевезення займають найбільшу частку у структурі пасажирських перевезень в м.Київ (53%), а обсяг пасажиропотоку та навантаження на лінії щороку зростає. Виявлено, що найбільш завантаженою як у години пік так і у інший час є Святошинської Броварська лінія (у 2019 році $Q\P_{max}=86,71$), а найменш – Сирецько-Печерська лінія (у 2019 році $Q\P_{max}=50,42$). Результати розрахунків показників навантаження продемонстрували, що КП Київський метрополітен» працює в умовах підвищеної завантаженості, і при збереженні існуючої тенденції в подальшому без оптимізації існуючих САУРП, це може призвести до негативних наслідків, оскільки система буде не в змозі обслуговувати зростаючий пасажиропотік

Визначено, що у КП Київський метрополітен» діє встановлена ще за радянських часів система АЛС-АРШ, яка сьогодні зазнала деяких модифікацій та оновлень, однак і досі функціонує на визнаному майже в усьому світі технологічно застарілому методі роботи на блочно-релейних системах. І хоча сьогодні підприємство активно працює над модернізацією і робить кроки в сторону встановлення сучасних мікропроцесорних систем централізації на мікропроцесорній елементній базі, що активно застосовується у САУРП з вищим рівнем автоматизації, такі дії є досить повільними у порівнянні із темпами зростання навантаження на систему.

Обґрунтовано, що оптимізація існуючих систем управління рухом поїздів (САУРП) на основі підвищення рівня їх автоматизації має розглядатись як можливість вирішення існуючих проблем та поставлених задач для КП Київський метрополітен». Доведено, що підхід, заснований на методиці виявленні слабких місць існуючих систем, пошуку варіантів та механізмів їх оптимізації та подальшому приведенні їх до вимог існуючих стандартів МСГТ за умов адекватної оцінки можливостей і загроз, які можуть супроводжувати такий процес, може бути впроваджений і в нашій країні.

Встановлено, що критеріальним показником оптимізації САУРП, що найбільш повно демонструє ефект від такої оптимізації є показник пропускної здатності поїздів на лінії. В результаті декомпозиції даного показника, виявлено фактори-резерви, що впливають на його збільшення/зниження. Обґрунтовано, що зниження інтервалів між поїздами за рахунок резервів часу, які можуть вивільнитися в результаті підвищення рівня САУРП, призведуть до збільшення пропускної здатності на лініях: до 36-42 пп/год. за умов скорочення інтервалу на 10 секунд та до 40-48 пп/ год. за умов скорочення інтервалу на 20 сек.

На основі застосування методу економіко-математичного моделювання здійснено аналіз розвитку показників стану пасажирських перевезень у КП Київський метрополітен» за двома можливими сценаріями: «Адаптивним» та «Інтенсивним», які різняться за потенційним рівнем автоматизації до якого може

бути підвищений існуючий рівень та характеристиками, які будуть відповідати кожному з них. В результаті отримано прогноз потенційної зміни показників пасажирообороту (Π), середньогодинного пікового обсягу перевезень у двох напрямках ($Q_{\Pi\max}$) та середнього обсягу перевезень пасажирів на 1 станцію ($\Pi\text{с}$). Встановлено, що зміна тенденцій розвитку у напрямку запропонованих сценаріїв збільшує потенціал нарощення потужностей та резервів для роботи в умовах зростаючого навантаження найбільше для Сирецько-Печерської та Оболонсько-Теремківської ліній, тоді як підвищення рівня САУРП для Святошинсько-Броварської лінії не матиме такого рівня наслідків як у випадку із попередніми двома лініями, а здебільшого дозволить полегшити роботу локомотивного, станційного та диспетчерського персоналу із помірним резервом подальшого зростання.

На основі вивчення світового досвіду встановлено, що оптимізація САУРП на основі підвищення рівня їх автоматизації значно покращує умови праці персоналу та дозволяє удосконалити існуючі системи Охорони праці на підприємстві. Так, доведено, що САУРП вищих рівнів автоматизації значно знижує навантаження на машиніста, що підтверджується значенням коефіцієнту завантаженості логічними діями, який за умов роботи із САУРП повертається в межі оптимальних значень (0,3-0,6), що в свою чергу має наслідком підвищення рівня працездатності машиністів із одночасним зниженням психофізіологічних показників їх втомлюваності.

Встановлено, що хоча метрополітен і є екологічно безпечним видом транспорту, однак його діяльність супроводжується значним обсягом відходів різних класів небезпеки (від I до V). Для зниження негативного впливу підприємство обрало шлях реалізації суспільно-відповідальної політики, яку уособлює у собі розроблена Програми заходів з питань охорони навколишнього природного середовища, на реалізацію яких КП Київський метрополітен» щороку виділяє значний обсяг грошових коштів, що дозволяє мінімізувати вплив таких викидів на оточуюче середовище.

СПИСОК ВИКОРИТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. A global bid for automation: UITP Observatory of Automated Metros confirms sustained growth rates for the coming years [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.uitp.org/sites/default/files/Metro%20automation%20-%20facts%20and%20figures.pdf/>
2. A Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality: TCRP Report 47. Transportation Research Board. National Research Council. 1999. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_47-a.pdf
3. Automatic Train Control in Rail Rapid Transit: Report of Office of Technology Assessment, US Congress, 1976. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.princeton.edu/~ota/disk3/1976/7614/7614.PDF>
4. Jacob Kam MTR's Experiences in PPP for Railway Projects, 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/ceci/documents/2017/PPP/Forum/Presentations/Jacob_Kam-MTR's_Experiences_in_PPP_for_Railway_Projects.pdf
5. Vuchic Vukan R. et al. The bus transit system: its underutilized potential: Final Report No. DOT-T-94-20. Washington, DC: Federal Transit Administration, 1994. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1787&context=ese_papers
6. Бакулин А. С., Пронин В. А., Федоров В. А., Кудринская К. И., Организация движения поездов и работа станция метрополитена: учеб. для подготовки рабочих на производстве. Москва: Транспорт, 1981. 230 с.
7. Бурковський Ю. В., Гончаров К. В. Порівняльний аналіз традиційних та координатних систем інтервального регулювання руху поїздів. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2014. № 7. С.63–69.

8. Дмитриев В. С., Минин В. А. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты. Москва: Транспорт, 1992. 182 с.
9. Елисеев В. М., Медеников В. А. Устройства пассажирской автоматики на метрополитенах : учеб. для техн. школ метрополитенов. Москва: Транспорт, 1989. 191 с.
10. Капцов В. А., Кузьмин В. А., Живаев А. С. Характеристика загруженности машинистов пассажирского движения на различных участках и режимах управления. *Гигиена и санитария*. 2016. Т. 95. №. 4.
11. Кирпичников А. Б., Моисеев А. М. Снизить уровень загруженности машиниста позволяет система автоведения поезда. *Евразия вести*. 2004. №1. С.12–16.
12. Кондратьева Л. А., Ромашкова О. Н. Системы регулирования движения на железнодорожном транспорте: учебн. для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. Москва: Маршрут, 2003. 432 с.
13. Кортовская И.Н. Метрополитены мира. *Транспорт: наука, техника, управление*. 2017. №2. С.52–63.
14. Криворучко О. Системне оцінювання якості транспортних послуг. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2011. № 2. С. 46–51.
15. Лаврик В. В. Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитенов : уч.пособ. Москва: Транспорт, 1984. 238 с.
16. Логинов Г. И. Устройства автоматики, телемеханики движения поездов на метрополитене: материалы для подготовки дежурных по посту централизации Московского метрополитена. 2006. 144 с.
17. Матусевич О. О. Вартісні техніко-економічні показники та ефективність залізничних пасажирських перевезень. *Зб.наук.праць ДНУЗТ ім.. ак. В.Лазаряна «Проблеми економіки транспорту»*. 2013. №5. С.72–79.
18. Мельник В. М. Основы економічного аналізу: короткий теоретико-методологічний курс. Київ: Кондор, 2008. 128 с.

19. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава : уч.пособ. / под ред.: Л. А. Баранова., Я. М. Головичера, Е. В. Ерофеева, В. М. Максимова. Москва: Транспорт, 1990. 272 с.
20. Миллер Д. Ю. Ошибки человека и его надежность. *Человеческий фактор*. Москва: Мир. 1991. Т.1. С. 360–417.
21. Мойсеєнко В. І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики. Частина 1. Централізація стрілок та сигналів. *Транспорт України*. 1999. 148с.
22. Мусієнко О. І. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2010 році. Державна адміністрація залізничного транспорту України. Київ. 2011. 53 с.
23. Нерубацький В. П. Моделювання алгоритмів централізованого керування рухом поїздів систем автоведення: метод.вказівки. Харків: УДУЗТ. 2016. 38 с.
24. Олександренко І. В. Діагностика ліквідності та платоспроможності підприємства. *Актуальні проблеми економіки*. №6 (156). 2014. С.419–426.
25. Офіційний сайт Американської асоціації громадського транспорту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.apta.com/wp-content/uploads/RC17-Keevill_Dave.pdf
26. Офіційний сайт Архіву Монреаля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://archivesdemontreal.ica-atom.org/expo-express-1967>
27. Офіційний сайт Верховної Ради України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0044481-92#Text>
28. Офіційний сайт Верховної Ради України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>
29. Офіційний сайт Головного управління статистики у м.Києві [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://kyiv.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=3219&lang=1>
30. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/08/zb_tr2018pdf.pdf
31. Офіційний сайт Європейського Союзу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204%3A110%3A0%3A%3A%3A>

- %3AFSP_PROJECT%2CFSP_ORG_ID%3A15341%2C6301&cs=18FE10A71F5CAEA8B1BED737846DA8B81
32. Офіційний сайт Київської міської державної адміністрації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kyivcity.gov.ua/news/iz_14_lipnya_u_miskomu_pasazhirskomu_transporti_bude_vstanovleno_novi_tarifi_na_prozd/
 33. Офіційний сайт Київської міської державної адміністрації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://kyivaudit.gov.ua/vr/ka/company.nsf/0/ffeb0b34f3f9cbfcc22581530050c26c/\\$FILE/Звіт%20Метро.pdf](https://kyivaudit.gov.ua/vr/ka/company.nsf/0/ffeb0b34f3f9cbfcc22581530050c26c/$FILE/Звіт%20Метро.pdf)
 34. Офіційний сайт КП «Київський метрополітен» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.metro.kiev.ua>
 35. Офіційний сайт Міжнародний союз громадського транспорту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.uitp.org/all-members?title=&field_member_category_tid=All&field_new_location_tid=3063
 36. Офіційний сайт Міжнародної електротехнічної комісії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://webstore.iec.ch/publication/6777>
 37. Офіційний сайт Міністерства розвитку громад і територій України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/05/V237_IB.pdf
 38. Офіційний сайт Обсерваторії автоматизованих метрополітенів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://metroautomation.org/wp-content/uploads/2019/05/Statistics-Brief-Metro-automation_final_web03.pdf
 39. Офіційний сайт ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kvsz.com/index.php/ua/produksiya/produksiya-dlya-metropoliteniv/vagoni-metro>
 40. Офіційному вісник Європейського Союзу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/competition/mergers/cases/decisions/m8677_9376_3.pdf

41. Палант О. Ю. Стратегія розвитку регіональної інновації – системи автоматичного ведення поїздів метрополітену. *Регіональні інноваційні ініціативи : завдання та шляхи вирішення: зб.наук.пр.за матеріалами Круглого столу, 5 квітня 2019 р.* Харків : НДІ ПЗІР НАПрН України. 2019. С.84–91. URL: https://ndipzir.org.ua/wp-content/uploads/2019/05.04.19/05_04_2019-84-91.pdf
42. Палант О. Ю., Стаматін В. В. Огляд наявних і перспективних систем автоведення поїздів метрополітену. *Проблеми економіки*. 2019. №. 2 (40).
43. Петровська С. І. Доцільність підвищення економічної ефективності пасажирських перевезень. *Вісник НТУ*. 2015. № 26. Ч.1. С.470–474
44. Про затвердження нормативно-правових актів з питань безпеки руху на метрополітенах України: Наказ Міністерства транспорту України від 04.11.2003 № 854. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0509-04>
45. Прохорченко А. В., Маловічко В. В., Декарчук О. М., Красноштан О. М., Казмірчук Н. В. Сучасні напрями автоматизації диспетчеризації руху поїздів на залізницях світу та перспективи їх упровадження в Україні. *Зб.наук.праць УкрДУЗТ*, 2017. №173. С.114–124
46. Смирнов О. В., Юрченко В. А., Есин М. А., Артеменко А. В. Современные энергосберегающие решения в обработке сточных вод. *MOTROL. – Commission of motorization and energeticin agriculture: PolishAcademyofsciences: Lublin*. 2013. Vol. 15. № 6. P. 93–101.
47. Соколов С. В. Автоматизированное рабочее место поездного диспетчера АРМ ДНЦ «Сетунь». *Автоматика, связь, информатика*. 2001. №5. С.13–16.
48. Сурикова О. Д., Сошников А. В., Шило Д. С. Автоматическое метро: характеристики и перспективы. *Техника железных дорог*. 2015. № 3. С.44–52.
49. Тихонов Д. А. Системы автоведения локомотивов. *Техника железных дорог*. 2014. №3 (27). С.33–39

50. Шульц В. А. Повышение пропускной способности участка дистанции сигнализации и связи путем применения современной системы диспетчерской централизации – «СЕТУНЬ». *Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика: материалы XVII междунар. науч.-практ. конф. КазАТК им. М.Тынышпаева*. 2018. Т. 3. С. 49–53.
51. Щиголев С. А., Талалаев В. И., Шевцов В. А., Сергеев Б. С. Алгоритм функционирования системы УКП СО и увязка с полуавтоматической блокировкой. *Автоматика, связь, информатика*. 1999. №5. С.10–14.
52. Яновський П. О. Загальна характеристика основних чинників, що визначають обсяги та структуру пасажирських перевезень. *Зб.наук.праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна: Транспортні системи та технології перевезень*. 2015. №10. С.117–124.
53. Яцишин Н. Методика аналізу фінансового стану підприємства. *Економічний аналіз: зб.наук.праць ТНЕУ* (під ред.. С. І. Шкарабан). 2013. Вип.10. Ч.4. С.439–445.

ДОДАТОК А

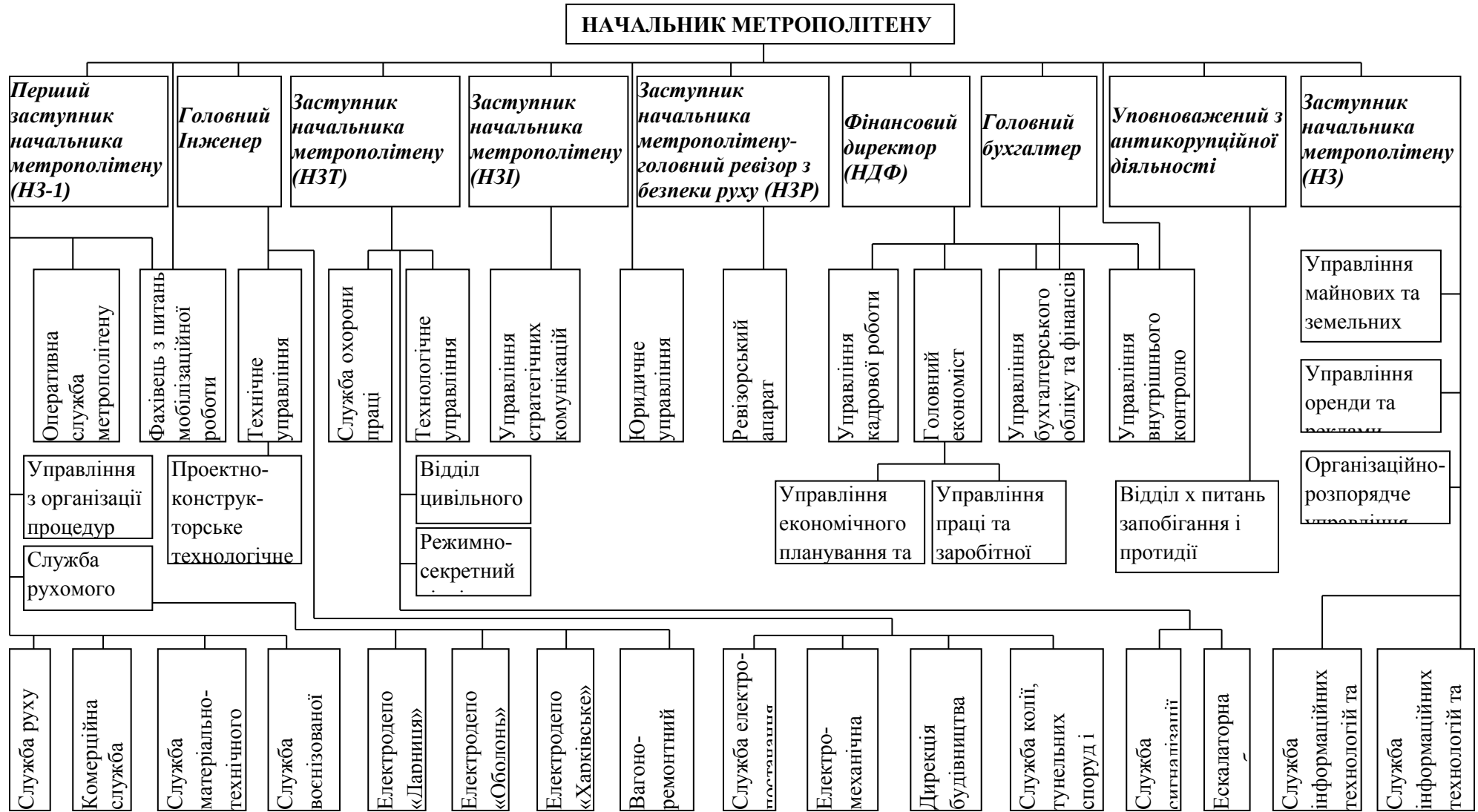


Рисунок А.1 – Організаційна структура КП «Київський метрополітен»

ДОДАТОК Б



- High capacity lines: more than 700 passengers per train
- Medium capacity lines: 300 to 700 passengers per train
- Low capacity lines: under 300 passengers per train

Рисунок Б.1 – Поширення САУРП рівнів GoA3 та GoA4 у світі