

ОГЛЯД НАЯВНИХ І ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ АВТОВЕДЕННЯ
ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

© 2019 ПАЛАНТ О. Ю., СТАМАТІН В. В.

УДК 330.342.3
JEL Classification: L900

Палант О. Ю., Стаматін В. В.

Огляд наявних і перспективних систем автоведення поїздів метрополітену

Мета статті полягає в аналізі та висвітленні наявних і перспективних систем автоведення поїздів метрополітену з акцентом на їхні економічні показники. Розвиток теорії та методології вдосконалення роботи транспортної галузі країни визначили перелік завдань, які необхідно дослідити та розв'язати, зокрема, це підвищення якості обслуговування пасажирів, забезпечення їх безпеки й комфорту пересування, дотримання транспортним графіків руху, економія капітальних витрат на ремонт рухомого складу та рейкового господарства за рахунок збільшення їх ресурсу, економія електроенергії, яка для метрополітенів досягається за рахунок оптимізації руху поїздів по перегонах. В українських метрополітенах вкрай назріла необхідність заміни наявних систем ведення поїздів на систему автоведення, основною перевагою якої є суміщення одразу всіх перелічених важливих функцій: забезпечення безпеки, дотримання графіків руху, економії електроенергії, сталої експлуатації рухомого складу (колесних пар) і рейкового господарства.

Ключові слова: система автоматичного ведення поїздів метрополітену, економія електроенергії, графік руху, безпека пересування.

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-2-119-125>

Табл.: 1. **Бібл.:** 15.

Палант Олексій Юрійович – доктор економічних наук, доцент кафедри економіки підприємств, бізнес-адміністрування та регіонального розвитку, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова (вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна)

E-mail: kharget@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8178-6874>

Стаматін В'ячеслав Володимирович – генеральний директор, КП «Харківський метрополітен» (вул. Різдва, 29, Харків, 61052, Україна)

E-mail: I.harchenko@metro.kharkov.ua

УДК 330.342.3
JEL Classification: L900UDC 330.342.3
JEL Classification: L900

Палант А. Ю., Стаматин В. В.

Обзор существующих и перспективных систем автоведения
поездов метрополитена

Цель статьи – анализ и освещение существующих и перспективных систем автоматического ведения поездов метрополитена с акцентом на их экономические показатели. Развитие теории и методологии совершенствования работы транспортной отрасли страны определили перечень задач, которые необходимо исследовать и решить, в частности, это повышение качества обслуживания пассажиров, обеспечение их безопасности и комфорта, соблюдение поездами графиков движения, экономия капитальных затрат на ремонт подвижного состава и рельсового хозяйства за счет увеличения их ресурса, экономия электроэнергии, которая для метрополитенов в основном достигается за счет оптимизации движения поездов по перегонам (отрезкам пути между станциями). В украинских метрополитенах давно назрела необходимость замены существующих систем ведения поездов на систему автоведения, основным преимуществом которой является совмещение в ней сразу всех перечисленных функций: обеспечение безопасности, соблюдение графиков движения, экономия электроэнергии, продление сроков службы подвижного состава (колесных пар) и рельсового хозяйства.

Ключевые слова: система автоматического ведения поездов метрополитена, экономия электроэнергии, график движения, безопасность передвижения.

Табл.: 1. **Библ.:** 15.

Палант Алексей Юрьевич – доктор экономических наук, доцент кафедры экономики предприятий, бизнес-администрирования и регионального развития, Харьковский национальный университет городского

Palant O. Y., Stamatyn V. V.

Overview of the Existing and Promising Automatic Train Operation
Systems for Underground

The aim of the article is to highlight and analyze the existing and promising automatic train operation systems for underground, with an emphasis on their economic performance. The development of the theory and methodology for improving the country's transport industry has outlined a list of tasks to study and solve, in particular, improving the quality of servicing passengers, ensuring their safety and comfort, observing on-time train performance, saving capital costs for repairs of the rolling stock and track facilities due to increasing their wear life, saving energy, which, for underground, is mainly achieved by optimizing the movement of trains on the running lines (segments of track between two stations). In the Ukrainian underground, there is a long overdue need to replace the existing train management systems with automatic train operation systems, the main advantage of which is combining all of the listed functions: ensuring safety, observing on-time train performance, saving electricity, extending the service life of the rolling stock (sets of wheels) and track facilities.

Keywords: automatic train operation system for underground, energy saving, schedule, train safety.

Tabl.: 1. **Bibl.:** 15.

Palant Oleksii Yu. – Doctor of Sciences (Economics), Associate Professor of the Department of Economics of Enterprises, Business Administration and Regional Development, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (17 Marshala Bazhanova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)

E-mail: kharget@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8178-6874>

хозяйства им. А. Н. Бекетова (ул. Маршала Бажанова, 17, Харьков, 61002, Украина)

E-mail: kharget@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8178-6874>

Стаматин Вячеслав Владимирович – генеральный директор, КП «Харьковский метрополитен» (ул. Рождественская, 29, Харьков, 61052, Украина)

E-mail: l.harchenko@metro.kharkov.ua

Stamatin Vyacheslav V. – General Director, Communal Enterprise «Kharkiv Metropolitan» (29 Rizdviana Str., Kharkiv, 61052, Ukraine)

E-mail: l.harchenko@metro.kharkov.ua

Постановка проблеми. Актуальність дослідження проблем функціонування й розвитку транспортних систем мегаполісів обумовлена досить великою кількістю факторів, ключовим з яких є надання транспортних послуг населенню, постійним підвищенням їх якості, безпеки й комфорту перевезення пасажирів. Серед них окремою ланкою стоять метрополітени.

Як відомо, лінії метрополітену являють собою ряд перегонів між станціями. Рух поїздів організований за графіком із зупинками на кожній станції для посадки та висадки пасажирів.

Назва «метрополітен» (або метро) прийняте в більшості країн світу, де експлуатується цей вид міського пасажирського транспорту. Будь-який метрополітен інженерно відділений від усіх інших видів транспорту та від пішохідного руху. У цьому його головна специфіка й основна відмінність від іншого міського пасажирського транспорту. Крім того, метрополітену властиві висока швидкість поїздів, що курсують, та значний пасажиропотік. Метрополітен – це суцільно міський вид транспорту. Будівництво й експлуатація метрополітену потребує значних капіталовкладень, а отже, з економічної точки зору його розміщення виправдане лише у великих містах, де є необхідний пасажиропотік.

Переважає більшість діючих метрополітенів являють собою різновид залізниці. У нашій країні склалася уява про метрополітен як про підземний вид транспорту. Хоча його лінії нерідко виходять на поверхню або проходять по естакадах. Тобто по своєму розташуванню вони можуть бути наземними або надземними. Лінії метрополітену, як правило, проходять уздовж містоутворюючих осей, що автоматично робить їх каркасом міської пасажирської транспортної мережі. Інші види міського транспорту найчастіше виконують функцію підвозу до станцій метрополітену, погоджують із ним графіки руху та намагаються будувати маршрути так, щоб не дублювати лінії метро.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемами функціонування й розвитку підприємств транспорту присвячені роботи таких дослідників, як: О. І. Никифоров [1], В. А. Грабельников [2], М. М. Мороз [3], Н. В. Сментіна [4], І. О. Башинська та В. Ю. Філіппов [5] та ін. Теоретичні та практичні аспекти підвищення безпеки і якості обслуговування пасажирів метрополітену, а також якості управління підприємствами метрополітену досліджували, зокрема, автори О. В. Познякова [6], С. А. Отечко [7], С. В. Очеретенко [8], І. Г. Міренський та А. М. Сосіпатов [9], М. С. Анастасов та А. С. Кочеригін [10], ін.

Визнаючи високу теоретичну обґрунтованість і безсумнівну практичну цінність результатів робіт згаданих

учених, слід зазначити, що проблеми підвищення ефективності роботи підприємств метрополітену залишаються й вимагають подальшого вивчення й удосконалювання.

Постановка завдання. Головним питанням, висвітленим у цій статті, стане система автоведення поїздів метрополітену з акцентом на її економічні показники. Розвиток теорії і методології вдосконалення роботи транспортної галузі визначили перелік завдань, які необхідно дослідити та розв'язати:

- аналіз тенденцій розвитку транспорту України у світі інтеграції її в загальноєвропейський транспортний комплекс;
- аналіз найбільш типових тенденцій, що визначають сучасний стан підприємств метрополітену;
- аналіз наявних і перспективних систем автоведення поїздів з обранням найбільш раціональної імітаційної моделі з метою досягнення максимального економічного ефекту від її впровадження в Україні;
- аналіз особливостей нормативного забезпечення роботи метрополітенів;
- оцінка можливих економічних і соціальних наслідків впровадження системи автоведення поїздів.

Отже, метою статті автори ставлять аналіз стану та перспектив розвитку метрополітенів України у світі підвищення їх економічної ефективності, економії ресурсів (зокрема, електроенергії), збільшення термінів служби рухомого складу та рейкового господарства, підвищення комфорту й безпеки перевезення пасажирів з орієнтацією на наявні передові європейські (світові) моделі.

Розв'язанню інших перелічених актуальних завдань будуть присвячені подальші роботи авторів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Автоведення – система часткового або повного автоматичного керування поїздом без безпосередньої постійної участі машиніста. Система автоматичного ведення поїздів (САВП) застосовується на локомотивах і моторвагонному рухомому складі. Для поїздів метрополітенів вона заснована на точному обліку відстані між станціями та технічно реалізується за рахунок світловідображення-світлопоглинання спеціальних складних технічних пристроїв, оснащених комплексом програмного забезпечення. САВП встановлюють у кабінах машиністів на головних вагонах поїздів. Функція автоведення, крім розв'язання завдань плавного гальмування й рушення поїздів зі станцій, вирішує завдання по оптимізації швидкості та інтервальному регулюванню руху, що покликано привести до зменшення витрати електроенергії та підвищити пропускну здатність ліній

метрополітену. Як система безпеки вона здійснює контроль над поведінкою машиніста й у змозі припинити його можливі несправданні дії, що можуть привести до важких наслідків.

Керуюча система автоведення поїздів являє собою програмно-апаратний комплекс, покликаний забезпечити автоматизоване управління електропоїздами з одночасним розрахунком оптимальних алгоритмів витрати електроенергії при гальмуванні й наборі швидкості на станціях, що, крім іншого, дає переваги в точності виконання графіків руху з дотриманням оптимального режиму інтенсивності руху поїздів.

Існує цілий ряд класифікацій САВП: 1) за місцем розташування їх поділяють на автономні й централізовані; 2) залежно від типів поїздів – на системи для метрополітенів, приміських електропоїздів та окремо для пасажирських і вантажних поїздів; 3) за видом програмного забезпечення – на стаціонарні, що вмонтовані в пам'ять САВП, і ті, які здійснюють програмування в режимі реального часу впродовж руху поїздів (і як їх підвид – такі, що циклічно розраховують оптимальні параметри); 4) за місцем розташування блоків керування – на бортові й підлогові (останні практично зжили себе, тому що ускладнювали експлуатацію та ремонт верхнього профілю колії); 5) за апаратною реалізацією – на ті, що побудовані на спеціалізованих пристроях, та на ті, що побудовані на мікропроцесорах; 6) за ступенем автоматизації (оснащеності внутрішньою автоматикою) – на повністю автоматичні й на частково автоматичні.

Системи автоведення поїздів метрополітену дозволяють із високою точністю виконувати графіки руху, адже похибка у часі прибуття на станцію не повинна перевищувати $\pm 2,5$ секунди. Крім того, САВП для метрополітенів

в обов'язковому порядку обладнанні автоматичними (автоматизованими) пристроями прицільного гальмування, що обумовлено великою кількістю зупинок, невеликими перегонами між станціями й необхідністю точної зупинки на платформі, що має обмежену довжину. Система автоматичного керування поїздами практично виключає людський фактор і вважається набагато більш безпечною з точки зору безпеки пасажирів.

У світі системи автоведення поїздів метрополітену досить розповсюджені. Вони поступово, але впевнено заміщують машиністів у кабінах поїздів. На цей момент існує досить велика кількість систем, що повністю управляють рухомим складом без присутності машиністів.

Перша лінія метрополітену, що почала свою роботу без участі машиніста, запущена в Лондоні в 1967 році, хоча водій тоді був присутній у кабіні. Відтоді були розроблені та впроваджені системи, що керують поїздами без присутності машиніста в кабіні або із супровідним персоналом, що перебуває усередині состава. Перша у світі повністю автоматизована лінія без супроводу фахівця усередині состава була запущена в Японії, перша в Європі – у Франції на метрополітені міста Лілль.

Міжнародна асоціація громадського транспорту (UITP), керуючись стандартами ІЕС 622901 (стандарти Міжнародної електротехнічної комісії МЕК), що «покликає й розглядають основні концепції, визначення, принципи й основні функції міських систем управління і командування / контролю транспортом (UGTMS)» [11], запровадила класифікацію систем автоведення поїздів залежно від ступеня їх автоматизації. Автори цієї статті на основі цієї класифікації склали таблицю (табл. 1), у якій розташували системи, про які йдеться в наведеному матеріалі, в порядку убудування їх ступеня автоматизації.

Таблиця 1

Список автоматизованих систем метро за ступенем автоматизації

№	Ступінь автоматизації	Опис	Приклади застосування
1	Ступінь автоматизації 4 (Goa4) *	У цій системі поїзда здатні працювати автоматично в будь-який час, включаючи закриття дверей, виявлення перешкод і при аварійних ситуаціях. Бортовий персонал може бути наданий для інших цілей, наприклад, для обслуговування пасажирів, але не потрібен для безпечної роботи системи	Метрополітен Барселони, 9 лінія; метрополітен Копенгагена; Airtrain JFK
2	Ступінь автоматизації 3 (Goa3)	У цій системі поїзда ходять автоматично від станції до станції, але співробітник завжди перебуває в поїзді, відповідаючи за обробку інформації за можливих надзвичайних ситуацій. Поїзд не може безпечно працювати без присутнього на борті співробітника	Docklands Light Railway – Східний Лондон, Великобританія
3	Ступінь автоматизації 2 (Goa2)	У цій системі поїзда ходять автоматично від станції до станції, але машиніст перебуває в кабіні, відповідаючи за закриття дверей, виявлення перешкод на шляху прямування поїзда й відповідає за усунення можливих аварійних ситуацій. Як і в системі Goa3, поїзд Goa2 не може безпечно працювати без присутнього на борті співробітника	Лінія Вікторія Лондонського метрополітену

*Grade-of-Automation

Перерахуємо список назв стандартних і найбільш поширених систем автоматизованої роботи метрополітену, які тією чи іншою мірою впроваджені на метрополітенах світу та виявили свою працездатність: Alstom, Ansaldo STS, AnsaldoBreda Driverless Metro, Bombardier, SelTrac, Siemens, VAL.

Системи автоведення поїздів ступеня автоматизації Go4 на території Американського континенту (включаючи Північну та Південну Америку) запроваджені в 4 країнах на 22 системах метрополітенів. Найбільша за протяжністю мережа без водія на Американському континенті (і друга у світі по довжині) знаходиться в Канаді (Metro VancouverSkyTrain), її довжина сягає 79,6 км (49,5 миль), її було відкрито 11 грудня 1985 року. Перша в Латинській Америці повністю без водіїв лінія метрополітену знаходиться в Бразилії, у місті Сан-Паулу.

Go4 в Азії успішно працюють у 12 країнах на 31 системі метрополітену. Саме на цьому континенті, у Сінгапурі, знаходиться одна з найбільших у світі повністю автоматизована мережа транспорту Mass Rapid Transit довжиною 82 км (51 миля). До 2024 року планується відкриття ще 43 км (27 миль) повністю автоматизованих трас метрополітену 4-го класу. У Катарі (Близький Схід) знаходиться сама молода у світі повністю автоматизована система ведення поїздів, вона була відкрита в 2019 році. У шостому по величині місті Японії – Кобе з населенням більш 1,5 млн людей – знаходиться найстарша (перша) у світі лінія оснащеної класу Go4.

Go4 у Європі експлуатується у 8 країнах на 17 системах метрополітену. В Італії, у місті Турин, знаходиться перше повністю автоматизоване метро, відкрите до Зимових Олімпійських ігор 2006 року.

Go3 у світі не так поширене. Ця система автоматизації функціонує в 7 країнах Земної кулі на 12 системах метрополітену.

Що стосується систем зі ступенем автоматизації Go2, то вони запущені на Африканському континенті в Алжирі на метрополітені міста Алжир (відкриття відбулося 1 листопада 2011 року). В Америці – в 6 країнах на 12 системах метрополітену. В Азії – в 9 країнах на 35 системах метрополітену. У Європі – в 11 країнах на 16 системах метрополітену, дві з них функціонують у Росії – у Казанському метро та у метро Санкт-Петербурга (ці системи мають назву КСД «Движение» [12; 13]).

Очікуються запуски автоматизованих систем метро ще у 23 країнах світу протягом 2019–2030 років. Причому цього року системи повинні запрацювати в Аргентині, Чилі, на Тайвані, у Китаї та Сінгапурі, а також в Австралії на метрополітені Сіднея.

У світі вже є системи, що закрилися, – у Великобританії (Лондон) та у Німеччині (Берлін).

В Україні метрополітени діють у трьох містах – Києві, Харкові і Дніпрі, швидкісний трамвай у м. Кривий Ріг, недобудований метрополітен у Донецьку, є проекти «легкого метро» у Запоріжжі та «метротраму» у Львові.

В українських метрополітенах вкрай нарізла необхідність заміни наявних систем ведення поїздів на систему автоведення. Вже почалися підготовчі роботи в цьому напрямку.

Основною перевагою систем автоведення поїздів метрополітену є суміщення в ній одразу декількох важливих функцій: від забезпечення безпеки, дотримання графіків руху, економії електроенергії до «м'якої» експлуатації рухомого складу та рейкового господарства.

Зупинимось на кожній із цих переваг більш докладно.

1. Економія електроенергії. Сьогодні втрати електроенергії в системі енергопостачання електротранспорту сягають 25 % від обсягу споживання [14, с. 26]. Це обумовлене, насамперед, низьким рівнем технічного стану рухомого складу, пристроїв і встаткування, які використовуються в процесі надання послуг з перевезення пасажирів. Економія витрат електроенергії на рух усього на 1 % дасть Україні економію близько 15 млн кВт-год у рік, а це близько 100 млн грн у тарифах нинішнього року. До речі, показники енергоспоживання в розвинених країнах менше вітчизняних у 10–12 разів. У підприємств громадського транспорту є великі резерви щодо скорочення витрат на електроенергію.

У метрополітені величезна кількість споживачів електроенергії – електропоїзди, станції, тунелі, наземні ділянки, виробничі й адміністративні будинки, електродепо, ескалаторне господарство, пристрої сигналізації, примусової вентиляції тощо. Всі вони зобов'язані проводити роботи з енергозбереження. Сьогодні, приміром, на Харківському метрополітені вже впроваджена автоматична система контролю й обліку електроенергії, призначена для автоматичного виміру, збору, обробки, зберігання, відображення й документування інформації про споживання електроенергії всіма ділянками метрополітену. З метою економії електроенергії впроваджуються сучасні енергозберігаючі технології, застосовують енергозберігаючі компактні люмінесцентні лампи, електронні пускорегулюючі пристрої. Середньорічна витрата електроенергії на підприємстві становить більш 90 млн кВт-год, середньодобова – близько 250 тис. кВт-год.

КП «Київський метрополітен» заради скорочення витрат на електроенергію оптимізує графіки руху поїздів у непікові години, здійснює щодобовий автоматизований облік електроенергії, використовує енергозберігаючі освітлювальні прилади, регулює роботу систем опалення залежно від погодних умов, проводить ряд інших заходів. Економічний ефект від впровадження перерахованих вище заходів в 2017 році повинен був скласти 10,7 млн грн при витратах на електроенергію за цей самий період понад 600 млн грн.

Але автори наголошують, що основна економія електроенергії може бути досягнута лише за рахунок зниження витрати електроенергії на тягу поїздів за рахунок оптимізації режимів ведення поїздів з одночасним скороченням непродуктивних її витрат. А це одна із цілей створення й впровадження системи автоматичного ведення поїздів на лініях метрополітену. Зменшення витрат електроенергії внаслідок оптимізації динаміки на розгінно-гальмовому відрізку шляху, яке буде контролюватися електронікою, не зашкодить безпеці перевезень.

І ще. При державному регулюванні тарифів для міського електричного транспорту їх формування здійснюєть-

ся на підставі бази витрат на транспортні послуги, лівову частину в яких становлять витрати за спожити електроенергію. Цінова нестабільність і недосконалість системи ціноутворення на енергоносії в комбінації з незадовільним станом енергетичного господарства галузі й недосконалістю законодавчої бази не дає можливість підприємствам міського електричного транспорту вийти із кризи. Тому якомога актуальним представляється якнайшвидше впровадження в постійну експлуатацію системи автоведення поїздів у розрізі економії енергоресурсів на метрополітенах країни.

2. Виконання графіків руху поїздів, розрахованих на підставі нормативів по організації й безпеці руху поїздів, – найважливіший показник роботи метрополітенів (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 [15]). 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.

Зараз у КП «Харківській метрополітен» один із найважливіших і мабуть один із самих відповідальних напрямків роботи – автоматичне регулювання руху поїздів – покладений на службу автоматики, телемеханіки і зв'язку (АТЗ). Промислове відеоспостереження, найскладніша комп'ютерна мережа, пасажирська автоматика (забезпечує пропуск на станції метрополітену пасажирів: платник – після оплати проїзду, пільгових – при наявності пільгової безконтактної електронної карти), зв'язок і сигналізація – усе це також зона відповідальності служби АТЗ.

Згідно з нормативами [15] графік руху електропоїздів повинен забезпечувати виконання необхідних обсягів перевезень пасажирів; забезпечувати безпеку руху поїздів; опікуватись найбільш ефективним використанням пропускної й провізної здатності ліній (перегонів і станцій); раціональне використання рухомого складу та ощадливу витрату електроенергії на тягу поїздів; дотримання встановленої тривалості безперервної роботи машиністів електропоїздів (локомотивних бригад) з урахуванням графіка обертів рухомого складу.

Сьогодні за графіком руху поїздів стежать самі машиністи. Їм у допомогу надано єдину систему часу в метрополітені. У торцях пасажирських платформ встановлені електронні інтервальні годинники, що дозволяють машиністам електропоїздів дотримуватися графіка руху з достатньою точністю.

При впровадженні режиму автоведення графік руху буде реалізований таким чином, що поїзна апаратура, одержавши інформацію про швидкість і місцезнаходження кожного з поїздів, за необхідності включатиме додаткову тягу, за рахунок чого дистанція між поїздами стає мінімально можливою, а саме – рівною довжині гальмового шляху, що суттєво підвищить пропускну здатність лінії метрополітену, а графік руху «ущільниться», що повинно благотворно

позначитись на прибутку метрополітену, маючи на увазі, що пасажиропотік збільшиться.

Виходячи з вимог дотримання графіка руху й забезпечення регулювання міжпоїзних інтервалів (із прийнятними відхиленнями) СВАП задає розрахунковий час ходу поїзда за оптимальною траєкторією по перегону, що лежить попереду. Траєкторія руху містить у собі ділянку проходження в режимі тяги, ділянку проходження в режимі вибігу, ділянку підгальмовування, сполучену із ділянкою прицільного гальмування. Причому порядок вибору режимів керування поїздом, від якого залежить траєкторія руху, визначається за критерієм оптимальності, а мінімальний час – виходячи із міркувань реалізованості. Траєкторія руху поїзда повинна бути такою, щоб швидкість руху була мінімально можливою.

Таким чином, завдання автоматичного керування рухом поїзда при заданому часі ходу по перегону (іншими словами – дотримання графіка руху) полягає у визначенні координат шляху, що забезпечують рух поїзда по оптимальній траєкторії для заданого часу ходу, що крім оптимізації графіків руху також сприяє задоволенню критеріїв безпеки та економії електроенергії. Процедура визначення поточної координати місцезнаходження поїзда – це ще один важливий і відповідальний елемент процесу автоматичного ведення поїздів.

3. Безпека. Повна назва системи, яку ми описуємо, звучить у такий спосіб – комплексна система забезпечення безпеки та автоматизованого керування рухом поїздів метрополітену. Як бачимо, навіть у назві слово «безпека» висунуте на перший план. Система покликана, насамперед, здійснювати контроль над поведінкою машиніста, вона в змозі припинити його можливі неправомірні дії, здатні привести до тяжких наслідків – псування основних засобів, створення аварійних ситуацій, що загрожують здоров'ю і життю пасажирів. Система автоматичного керування поїздами практично виключає людський фактор і вважається набагато більш безпечною для пасажирів. Тобто підтверджується той факт, що із застосуванням технічних засобів, а тим більш засобів автоматизації, вплив людського фактора на забезпечення безпеки руху й безпеки пасажироперевезень знижується.

Ще один аспект безпеки перевезень – уведення регламентів регулювання пробігів. Тепер за станом систем рухомого складу, шляху, по якому рухається поїзд, систем його енергоживлення тощо, за їхньою справністю, технічним станом і необхідністю планового або екстреного ремонту стежить бортова й шляхова апаратура САВП.

Хоча в кожному електродепо будь-якого метрополітену для оперативного усунення нестандартних ситуацій є аварійно-відбудовні формування, оснащені спецтехнікою й устаткуванням для підйому вагона або його вузлів, усунення сходу рухомого складу з рейок, транспортування вагонів з ушкодженою ходовою частиною й інше встаткування для виконання аварійно-відбудовних робіт, час іноді є найважливішим чинником. Саме цей часовий фактор покликана скоротити до мінімуму система автоведення поїздів. Центральний пост керування миттєво буде сповіщений

про нестандартну або аварійну ситуацію завдяки розміщеній на борту поїзда апаратурі.

Шляхове й тунельне господарство метрополітену піддаються періодичній повній перевірці рейок і стрілочних переводів на предмет зносу, зазорів ходової й контактної рейки, цілісності коробів контактної рейки, справності шпального господарства, перевірці зварних стиків, технічного стану тунельного оздоблювання й облицювання, габаритів будов і встаткування, а також проводиться періодична перевірка рейкового шляху колієвимірвальним устаткуванням. Усе це важлива й кропітка робота, спрямована на забезпечення безпеки пасажирських перевезень метрополітеном. Тепер у допомогу працівникам шляхового і тунельного господарства прийде автоматизована система, обладнана спеціальним програмним забезпеченням, що передає на центральний пост керування інформацію про технічний стан конструктивів у режимі реального часу.

Отже, застосування системи автоведення поїздів підвищує безпеку за рахунок автоматичного виконання швидкісного режиму руху (з урахуванням сигналів світлофорів, обмежень швидкості тощо); зменшення стомлюваності машиніста; виключення людського фактора при виникненні нестандартних ситуацій; постійного автоматичного контролю стану функціональних вузлів апаратури й конструктивів метрополітену.

4. Збільшення ресурсу рухомого складу (колісних пар) і рейкового господарства. Технічний стан кожної колісної пари й кожної рейки й стрілочного переводу повинні відповідати Правилам технічної експлуатації метрополітенів України, викладеним в документі [15]. Ці Правила встановлюють вимоги до технічного стану, обслуговування й ремонту об'єктів метрополітенів, порядку роботи метрополітенів, порядку утримання найважливіших споруд, пристроїв і рухомого складу, системи організації руху поїздів і застосування сигналізації.

Згідно з документом [15] усі елементи шляхів метрополітену (бетонна підстава або земляне полотно, верхня будова) і штучні спорудження по міцності, стійкості й технічному стану повинні втримуватися так, щоб забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів з найбільшими швидкостями, встановленими на кожній ділянці шляху. Для цього в системі кожного метрополітену існують спеціальні ремонтні ділянки, що виявляють дефекти і проводять ремонтно-профілактичні роботи.

Система автоведення поїздів за рахунок, зокрема, виключення критичних режимів тяги й гальмування покликана знизити знос рейок і частин рухомого складу, що рухаються.

5. Інші функції системи. Ще однією немаловажною функцією системи автоведення поїздів є контроль над мінімізацією часу й точністю прицільного гальмування. При заданій точності прицільного гальмування ± 1 метр за допомогою цієї системи вона може бути досягнута $\pm 0,1$ метр за рахунок задіяння двох коригувальних міток пройденого шляху, розташованих за 100 і 15 метрів до лінії зупинки першого вагона (ЗПВ).

Наступна функція – функція повністю автоматичного відкриття дверей. Вона допомагає побільшати час висадки й посадки пасажирів. Командою для відкриття дверей

є знаходження поїзда в точці прицільного гальмування або ЗПВ. Команда відкриття дверей у САВП поєднана з функцією інформування пасажирів гучномовним зв'язком про назву станцій.

Висновки. Таким чином, можна зробити висновок, що основними перевагами систем автоведення поїздів є суміщення в них відразу декількох найважливіших функцій: підвищення якості обслуговування пасажирів, забезпечення їх безпеки й комфорту, дотримання та ущільнення графіків руху, що одразу повинно позначитись на доходності підприємств, економія електроенергії за рахунок оптимізації руху поїздів по перегонах, економія капітальних витрат на ремонт рухомого складу та рейкового господарства за рахунок збільшення їх ресурсу, що одразу дасть відчутний економічний ефект.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іникифорук О. І. Модернізація наземних транспортних систем України. Київ : ІЕП НАНУ, 2014. 440 с.
2. Грабельников В. А. Система міського пасажирського транспорту як об'єкт управління. *Наукові праці Чорноморського державного університету ім. П. Могили. Серія : Державне управління.* 2012. Т. 194. Вип. 182. С. 118–122.
3. Мороз М. М. Шляхи вдосконалення пасажирських перевезень транспортом загального користування. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету.* 2015. Вип. 28. С. 57–63.
4. Сментина Н. В., Доброва Н. В. Модернізація міського електротранспорту на шляху забезпечення збалансованого розвитку міста. *Економіка. Фінанси. Право.* 2017. № 5/2. С. 55–62.
5. Башинська І. О., Філіппов В. Ю. Проблеми та шляхи удосконалення функціонування міського пасажирського транспорту. *Економіка. Фінанси. Право.* 2017. № 7/1. С. 35–37.
6. Познякова О. В., Гуляев М. С. Оновлення логістичної інфраструктури метрополітену Києва. *Вісник економіки транспорту і промисловості.* 2018. № 62. С. 104–111.
7. Отченко С. А. Проблеми та перспективи розвитку пасажирського транспорту міста Харкова: суспільно-географічний аспект. *Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія.* 2016. № 44. С. 143–148.
8. Очеретенко С. В. Розвиток мережі метрополітену на основі закономірностей формування пасажиропотоків (на прикладі Харківського метрополітену) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.20. Київ, 2004. 20 с.
9. Міренський І. Г., Сосіпатров А. М. Удосконалення організації пасажирських перевезень на метрополітені. *Вестник ХНАДУ.* 2013. Вып. 61–62. С. 162–169.
10. Анастасов М. С., Кочерыгин А. С. Развитие инновационной структуры метрополитена мегаполиса: управленческий аспект. *Транспортное дело России. Серія : Экономика.* 2013. С. 39–44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt>
11. IEC 62290-1 (стандарт МЭК 62290. Системы городского управления и системы командования и управления. Часть 1. Системные принципы и фундаментальные концепции). URL: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec62290-1%7Bed2.0%7Db.pdf

12. Голынский А. П., Жданович А. Б. Система «Движение»: некоторые аспекты внедрения, экономического и правового регулирования. *Транспорт Российской Федерации*. 2010. Спец. вып. : Наука и транспорт. Метрополитены будущего. С. 42–43.

13. Голынский А. П., Жданович А. Б. Автоведение поездов метрополитена – базовая функция системы «Движение». *Транспорт Российской Федерации*. 2011. № 3 (34). С. 74–75.

14. Палант О. Ю. Стратегія системної модернізації міського електричного транспорту : [монографія]. Харків : Золоті сторінки, 2016. 360 с.

15. Про затвердження нормативно-правових актів з питань безпеки руху на метрополітенах України : Наказ Міністерства транспорту України від 04.11.2003 № 854. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0509-04>

REFERENCES

Anastasov, M. S., and Kocherygin, A. S. "Razvitiye innovatsionnoy struktury metropolitena megapolisa: upravlencheskiy aspekt" [The development of the metropolitan metropolitan innovation structure: the managerial aspect]. *Transportnoye delo Rossii. Seriya : Ekonomika*. 2013. <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitiye-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt>

Bashynska, I. O., and Filipov, V. Yu. "Problemy ta shliakhy udoskonalennia funktsionuvannia miskoho pasazhyrskoho transportu" [Problems and ways of improving the functioning of urban passenger transport]. *Ekonomika. Finansy. Pravo*, no. 7/1 (2017): 35-37.

Golynskiy, A. P., and Zhdanovich, A. B. "Avtovedeniye poyezdov metropolitena - bazovaya funktsiya sistemy «Dvizheniye»" [Avtovedeniya trains subway - the basic function of the «Movement»]. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, no. 3 (34) (2011): 74-75.

Golynskiy, A. P., and Zhdanovich, A. B. "Sistema «Dvizheniye»: nekotoryye aspekty vnedreniya, ekonomicheskogo i pravovogo regulirovaniya" [The Movement system: some aspects of implementation, economic and legal regulation]. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Spets. vyp. : Nauka i transport. Metropoliteny budushchego*. (2010): 42-43.

Hrabelnykov, V. A. "Systema miskoho pasazhyrskoho transportu yak ob'ekt upravlinnia" [The system of urban passenger transport as an object of management]. *Naukovi pratsi Chornomorskoho derzhavnoho universytetu im. P. Mohyly. Seriya : Derzhavne upravlinnia*, vol. 194, no. 182 (2012): 118-122.

"IES 62290-1 (standart MEK 62290. Sistemy gorodskogo upravleniya i sistemy komandovaniya i upravleniya. Chast 1. Sistemnyye printsiy i fundamentalnyye kontseptsii)" [IES 62290-1 (IES 62290 Standard. Urban Management Systems and Command and Control Systems. Part 1. Systems Principles and Fundamental Concepts)]. https://webstore.iec.ch/preview/info_iec62290-1-%7Bed2.0%7Db.pdf

[Legal Act of Ukraine] (2003). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0509-04>

Mirenskyi, I. H., and Sosipatrov, A. M. "Udoskonalennia orhanizatsii pasazhyrskikh perevezen na metropoliteni" [Improvement of the organization of passenger transportation on the underground]. *Vestnik KhNADU*, no. 61-62 (2013): 162-169.

Moroz, M. M. "Shliakhy vdoskonalennia pasazhyrskikh perevezen transportom zahalnoho korystuvannia" [Ways of improvement of passenger transportation by public transport]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, no. 28 (2015): 57-63.

Nykyforuk, O. I. *Modernizatsiia nazemnykh transportnykh system Ukrainy* [Modernization of Ukraine's land transport systems]. Kyiv: IEP NANU, 2014.

Ocheretenko, S. V. "Rozvytok merezhi metropolitenu na osnovi zakonomirnosti formuvannia pasazhyropotokiv (na prykladi Kharkivskoho metropolitenu)" [Development of underground network on the basis of patterns of passenger traffic formation (on the example of Kharkiv underground)]: *avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk* : 05.23.20, 2004.

Otechko, S. A. "Problemy ta perspektyvy rozvytku pasazhyrskoho transportu mista Kharkova: suspilno-heohrafichnyi aspekt" [Problems and Prospects for the Development of Passenger Transport in Kharkiv: Socio-Geographic Aspect]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu im. V. N. Karazina. Seriya : Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia*, no. 44 (2016): 143-148.

Palant, O. Yu. *Stratehiia systemnoi modernizatsii miskoho elektrychnoho transportu* [Strategy of system modernization of urban electric transport]. Kharkiv: Zoloti storinky, 2016.

Pozniakova, O. V., and Hulciaiev, M. S. "Onovlennia lohistychnoi infrastruktury metropolitenu Kyieva" [Update of Kyiv's underground metro logistic infrastructure]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*, no. 62 (2018): 104-111.

Smentyna, N. V., and Dobrova, N. V. "Modernizatsiia miskoho elektrotransportu na shliakhu zabezpechennia zbalansovanoho rozvytku mista" [Modernization of urban electric transport on the way of ensuring balanced development of the city]. *Ekonomika. Finansy. Pravo*, no. 5/2 (2017): 55-62.

Стаття надійшла до редакції 05.04.2019 р.