

**Захаров Д.С.**

кандидат технічних наук, директор  
ТОВ «РС Інженерінг»

**Стаматін В.В.**

генеральний директор  
КП «Харківський метрополітен»;  
аспірант  
Харківського національного університету  
міського господарства імені О.М. Бекетова

**Тараруєв Ю.О.**

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри підприємництва та бізнес-адміністрування  
Харківського національного університету  
міського господарства імені О.М. Бекетова

**Zakharov Denys**

Ph.D. (Technical),  
CEO "RS Engineering", Ltd

**Stamatin Vyacheslav**

CEO Municipal Enterprise Kharkiv Metro,  
Graduate Student  
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

**Tararuyev Yuriy**

Ph.D. (Economics), Associate Professor,  
Assistant Professor of the Department of Entrepreneurship  
and Business Administration  
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

## ІНВЕСТИЦІЙНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОВЕДЕННЯ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

## INVESTMENT EFFICIENCY OF IMPLEMENTATION OF THE AUTOMATIC TRAIN GUIDANCE SYSTEM OF THE METRO

*У статті представлено аналітичний огляд із питань підвищення ефективності функціонування підприємств метрополітену у зв'язку зі впровадженням інноваційної для нашої держави системи автоведення поїздів метрополітену та визначено складові частини економічного ефекту з представленням співвідношень для їх розрахунку. Визначено економічний ефект від економії заробітної плати машиністів та від застосування оптимального режиму роботи такої системи, що дає змогу економити до 8% електричної енергії, що використовується на тягу поїздів. Крім того, визначено показники інвестиційної ефективності проекту, що підтверджують доцільність його реалізації. Подано короткий огляд та пропозиції щодо вдосконалення чинного законодавства у сфері енергозбереження на підприємствах міського електричного транспорту з огляду на впровадження систем автоведення поїздів.*

**Ключові слова:** метрополітен, система автоведення поїздів, енергоефективність, інвестиційна ефективність проекту, енергозбереження.

*В статье представлен аналитический обзор по вопросам повышения эффективности функционирования предприятий метрополитена в связи с внедрением инновационной для нашего государства системы автоведения поездов метрополитена и определены составляющие экономического эффекта с представлением соотношений для их расчета. Определен экономический эффект от экономии заработной платы машинистов и от применения оптимального режима работы такой системы, что позволяет*

економить до 8% електроенергії, використовуваної на тягу поїздів. Крім того, визначені показники інвестиційної ефективності проекту, що підтверджують цільовість його реалізації. Представлено короткий огляд і пропозиції щодо вдосконалення діючого законодавства в сфері енергозбереження на підприємствах міського електричного транспорту з урахуванням впровадження систем автоматизації поїздів.

**Ключові слова:** метрополітен, система автоматизації поїздів, енергоефективність, інвестиційна ефективність проекту, енергозбереження.

*The transport complex of Ukraine, of which urban public transport is a part, uses about a third of all energy resources of the country. The productivity of their use has been and remains very low. The metro is one of the largest consumers of electricity in the world. The main consumption falls on the traction of trains. In this regard, the authors of the article suggest the management of the Ukrainian metro to introduce an automatic train guidance system, which is innovative for our country. Moreover, in order to bring the metro to a break-even level, it is recommended to do this as soon as possible. Such systems have been successfully operating for many years on a number of subways around the world. The article presents an analytical review on the issues of increasing the efficiency of the functioning of metro enterprises in connection with the introduction of the automatic train guidance system, identifies the components of the economic effect, and presents the ratios for their calculation. The economic effect from the introduction of the system has been determined. It is calculated for two main components: saving the wages of drivers and the use of the optimal operating mode of such a system, which allows saving up to 8% of the electricity spent on train traction. The automatic train guidance system, which is planned to be introduced on one of the lines of the Kharkiv metro, provides for the calculation of many options for the train paths trajectory in order to optimize energy costs. At the same time, strict adherence to the train schedule is achieved. In our opinion, the main energy savings can be achieved only by reducing electricity consumption for traction of trains by optimizing train guidance modes and reducing its non-productive costs. And this is one of the goals of creating and implementing the automatic train guidance system on metro lines. In addition, the article defines the indicators of the investment efficiency of the project. They confirm the feasibility of its implementation. A brief overview and proposals for improving the current legislation in the field of energy conservation at urban electric transport enterprises are given, subject to the introduction of the automatic train guidance systems.*

**Keywords:** metro, automatic train guidance system, energy efficiency, investment efficiency of the project, energy saving.

**Постановка проблеми.** Транспортний комплекс України загалом використовує близько третини загального споживання нафтопродуктів у країні, але ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів, на жаль, залишається досить низькою. Економія витрат електроенергії на рух міського електричного транспорту лише на 1% забезпечить економію електроенергії у розмірі близько 25 млн. кВт-год. на рік, що більше 100 млн. грн. у грошовому вираженні за умови використання чинних тарифів.

Усі метрополітени країни є значними споживачами електроенергії. Сьогодні втрати електроенергії в системі енергопостачання електротранспорту становлять 25% від загального обсягу її споживання [1, с. 26]. Це обумовлене насамперед незадовільним технічним станом рухомого складу, пристроїв та устаткування, що використовуються в процесі надання транспортних послуг.

У метрополітенах електроенергія споживається під час використання електропоїздів, станцій, тунелів, наземних ділянок, виробничих та адміністративних будівель, електродепо, ескалаторного господарства, пристроїв сигналізації, примусової вентиляції тощо, що вказує на необхідність вжиття заходів з енергозбереження та підвищення ефективності функціонування метрополітену.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика енергозбереження на підприємствах метрополітену та підвищення їх ефективності досліджується у роботах різних науковців [2–5]. Переважно вони досліджують рекуперативне гальмування [3; 5] або вибір ємнісних накопичувачів енергії [4]

як заходи з підвищення енергоефективності підприємств метрополітену.

У роботі [6] А.П. Голинський та А.Б. Жданович описують режими набору ходу та пригальмовування для різних часових відрізків ходу. Мінімальний час ходу зафіксовано з другим підключенням двигуна й пригальмовуванням перед стрілкою, де вони розрахували економію електроенергії, що дорівнює 0%, тобто взяту за відправну точку. Збільшення часу ходу на 20 секунд на досліджуваній ділянці (хід без пригальмовування) дає, на їхню думку, економію електроенергії в 10%. Економія електроенергії на рівні 30% досягається за рахунок збільшення часу ходу більш ніж на хвилину.

Формулювання цілей статті (**постановка завдання**). Метою статті є обґрунтування методики розрахунку економічного ефекту від запровадження системи автоматизації поїздів метрополітену з подальшим визначенням інвестиційної ефективності цього проекту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час запровадження системи автоматизації поїздів (САВП) бортовий комп'ютер розраховує оптимальні режими набору ходу й пригальмовування (за необхідності), виходячи з плану й профілю колії, а також конструктивних особливостей кожного перегону, за рахунок чого, власне, досягається економія електроенергії. Експлуатація подібних систем у світі показала, що скорочення витрати електроенергії перебуває на рівні 2–10%, а термін служби рейок, стрілок і колісних пар суттєво зростає.

На Харківському метрополітені вже впроваджена автоматична система контролю й обліку електроенер-

Споживання електроенергії КП «Харківський метрополітен», тис. кВт/год.

Лінії метрополітену	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.
Споживання електроенергії	84 969,5	87 086,5	88 559,4	88 113,5	89 901,2
зокрема, на тягу поїздів по лініях:					
Холодногірсько-Заводська	27 567,4	27 103,9	26 126,8	26 375,4	26 469,6
Салтівська	19 632,5	19 419,1	19 276,9	18 953,7	18 932,1
Олексіївська	12 692,2	13 184,1	14 292,0	14 459,7	14 137,5

гії (АСКОЕ), призначена для автоматичного виміру, збирання, оброблення, зберігання, відображення й документування інформації про споживання електроенергії всіма ділянками метрополітену. Задля економії електроенергії впроваджуються сучасні енергозберігаючі технології, застосовуються енергозберігаючі компактні люмінесцентні лампи, електронні пускорегулюючі пристрої. Середньорічна витрата електроенергії на Комунальному підприємстві «Харківський метрополітен» становить більше 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, веде щодобовий автоматизований облік електроенергії та використовує енергозберігаючі освітлювальні прилади, регулює роботу систем опалення залежно від погодних умов, вживає низку інших заходів. За повідомленнями в пресі [7], річний економічний ефект від вжиття названих заходів з 2017 р. щорічно складав близько 11 млн. грн. Витрати на електроенергію цього підприємства щорічно складають понад 600 млн. грн. та продовжують зростати.

Електроенергія – це основний ресурс, без якого функціонування метрополітену неможливе. Щорічно КП «Харківський метрополітен» споживає близько 90 млн. кВт-год електроенергії. Динаміка її споживання по роках наведена нижче (табл. 1).

З проведених розрахунків випливає, що витрати електроенергії на підприємстві сягають значних величин. Вжиття комплексу заходів з енергозбереження не привело до відчутного скорочення обсягів споживання енергії.

Тарифи на електроенергію щороку збільшуються. За підсумками 2019 р. витрати Харківського метрополітену на цей вид ресурсу склали більше 15% від загального обсягу витрат. З них вартість електроенергії на тягу поїздів склала близько 160 млн. грн. за рік. Викладене вище є вагомим аргументом на користь обґрунтування та вжиття заходів з енергозбереження. Одним з найбільш дієвих шляхів досягнення цієї мети є впровадження САВП (що приведе також до додаткового економічного ефекту внаслідок реорганізації персоналу).

У разі використання САВП ефект зниження витрат електроенергії досягається за рахунок більш точного виконання графіку руху порівняно з ручним керуванням; через використання програм ведення поїздів, оптимальних за критеріями мінімізації витрат електроенергії та часу ходу по перегонах.

В узагальненому вигляді графік проходження поїздом перегону між двома станціями має такий вигляд (рис. 1).

Крива 1 відображає режим руху поїзда з мінімальним часом ходу, другим підключенням тяги та підгальмовуванням перед стрілкою. Цей тип ходу характеризується найбільшою середньою швидкістю проходження перегону з найбільш різким режимом гальмування перед обмеженням швидкості. За такого режиму руху витрати електроенергії є максимальними.

Крива 2 ілюструє режим руху по перегону з другим включенням тяги, але без пригальмовування перед стрілкою. Така динаміка дає змогу скоротити час другого включення тяги й, відповідно, знизити на 8–10% витрати електроенергії, але збільшує час ходу по перегону на 15–20 секунд.

Крива 3 показує режим руху поїзда без другого підключення тяги. Цей режим є найбільш енергоефективним (економія електроенергії сягає 25–30%), але найбільш витратним за часом (час проїзду перегону збільшується на 60–70 секунд).

Проаналізувавши варіанти режимів руху проходження шляху на перегонах між двома станціями, отримуємо таку залежність часу ходу та величини економії електроенергії у відсотках (табл. 2).

Таблиця 2

**Економія електроенергії за різних режимів ходу поїздів по перегону між двома умовними станціями метрополітену**

Режим руху	Час ходу, хв.	Економія електроенергії, %
1	2,13	0
2	2,32	8–10
3	3,24	25–30

З проведених порівняльних досліджень видно, що для досягнення максимальної економії електроенергії час ходу поїзда по перегону потрібно збільшити в 1,5 рази. Такий режим руху хоч і є найбільш економічним, але може використовуватися тільки тоді, коли це дозволяють знижений пасажиропотік і встановлений графік руху поїздів.

Система автоматичного ведення поїздів, що планується до впровадження, передбачає врахування значної кількості варіантів траєкторії руху поїзда задля оптимізації енерговитрат за чіткого дотримання графіка руху по лініях.

З огляду на обсяги споживання електроенергії після впровадження системи автоведення на всьому рухомому складі економія енергоресурсів може скласти 5–10%.

На нашу думку, основна економія електроенергії може бути досягнута тільки за рахунок зниження

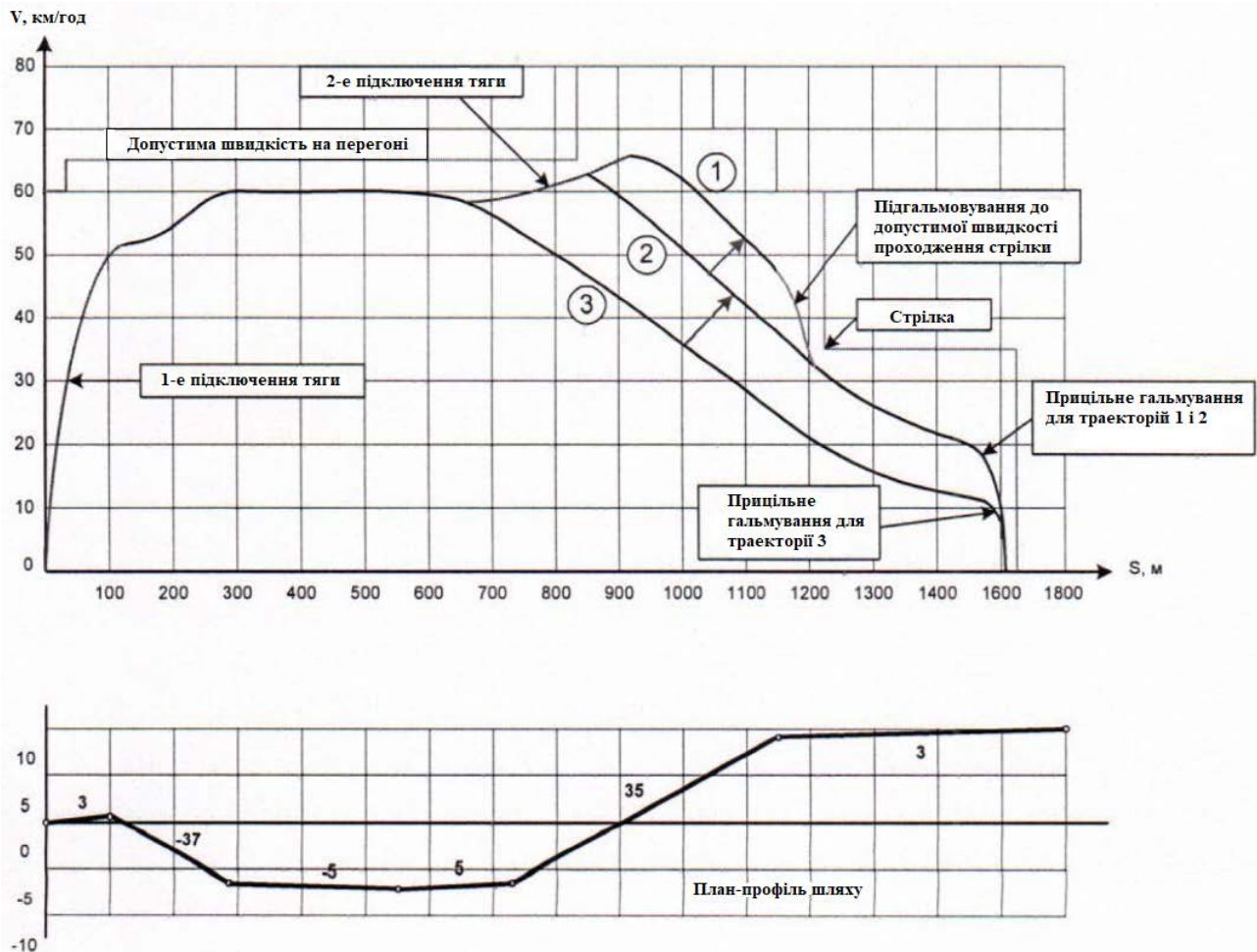


Рис. 1. Графік проходження поїздом перегону між двома станціями та план-профіль шляху

витрат електроенергії на тягу поїздів шляхом оптимізації режимів ведення поїздів і скорочення її непродуктивних витрат, а це одна з цілей створення та впровадження системи автоматичного ведення поїздів на лініях метрополітену.

Залежно від обставин САВП може працювати в одному з таких трьох режимів:

- режим автоведення, коли система повністю керує рухомим складом, використовуючи системи головного вагона, зв'язуючись із ЦПУ та іншими засобами автоматизації, розташованими поза поїздом;
- режим кнопочного контролера, коли керування здійснює машиніст через клавіатуру системи автоведення;
- режим порадника, коли система лише допомагає машиністові в керуванні поїздом метрополітену.

У кожному з режимів САВП самостійно розраховує та виводить на екран комп'ютера інформацію про стан ведення поїзда в енергооптимальному режимі.

Поїзна апаратура у складі САВП забезпечує такі режими ведення поїздів:

- 1) HAND – ручний режим керування за допомогою контролера-машиніста під контролем поїзної апаратури автоматичного регулювання швидкості (АКШ);
- 2) AUTO – автоматичний режим керування веденням поїзда під контролем поїзної апаратури АКШ.

Передбачається можливість переходу з ручного режиму ведення поїзда в автоматичний і навпаки залежно від призначених параметрів зупинки на поточній станції та параметрів ведення поїзда на перегоні (ділянці шляху), що лежить попереду.

САВП забезпечує підтримку заданої швидкості, постійно розраховуючи її оптимальне значення в умовах мінливої поїзної обстановки, мінімізуючи витрати електроенергії та дотримуючись графіку руху.

Впровадження САВП сприяє зменшенню витрат електроенергії внаслідок оптимізації динаміки на розгінно-гальмовому відрізку шляху, яке буде контролюватися електронікою без шкоди для безпеки перевезень.

Отже, ми наголошуємо на тому, що впровадження в постійну експлуатацію системи автоведення поїздів для економії енергоресурсів є найбільш актуальним завданням метрополітенів країни.

Для сталої роботи метрополітенів потрібно законодавчо закріпити необхідність забезпечення ресурсозбереження (зокрема, енергозбереження) на підприємствах галузі. Так, у ст. 18 «Електрозабезпечення міського електричного транспорту» Закону України «Про міський електричний транспорт» [8] зазначено лише таке: «1. Протягом трьох років після набрання чинності цим Законом для міського

електричного транспорту застосовуються тарифи на електричну енергію, встановлені для населення. 2. Забороняється відключення об'єктів міського електричного транспорту від електропостачання під час пасажирських перевезень, за винятком усунення наслідків аварій у системах електропостачання», отже, нема ані слова про енергозбереження.

В Законі України «Про енергозбереження» [9] в абз. 2 ст. 5 є лише положення про «проведення енергозберігаючої політики та заходів щодо енергозбереження в усіх галузях економіки – промисловості, транспорті, будівництві, сільському господарстві тощо».

Ми пропонуємо підприємствам метрополітенів країни звернутися з ініціативою до відповідних владних структур з пропозицією вдосконалити законодавство у сфері енергозбереження на підприємствах міського електричного транспорту з огляду на впровадження систем автоведення поїздів.

Також для повноцінного впровадження системи автоведення поїздів у Харківському метрополітені з одночасним оцінюванням перспектив впровадження подібних систем у Київському і Дніпровському метрополітенах на загальнодержавному рівні знадобиться внесення змін до таких нормативних документів, як Правила технічної експлуатації метрополітенів України, затверджені Наказом Міністерства інфраструктури України від 12 листопада 2014 р. № 578; Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на метрополітенах України, затверджена Наказом Міністерства інфраструктури України від 7 листопада 2017 р. № 373; Інструкція з сигналізації на метрополітенах України, затверджена Наказом Міністерства інфраструктури України від 7 листопада 2017 р. № 373.

Також підлягають перегляду внутрішні нормативні документи підприємств.

Серед усіх переваг застосування САВП особливо виділяються економічні переваги, тому для обґрунтування доцільності встановлення такої системи на поїздах метрополітену необхідно розглядати цей процес як інвестиційний проєкт з визначенням необхідних показників ефективності його реалізації.

Для отримання економічного ефекту від використання САВП пропонується встановити цю систему у її повністю автоматизованому варіанті та використовувати на лініях Харківського метрополітену. Повна автоматизація руху рухомого складу дасть змогу максимізувати економічний ефект від запровадження системи.

Встановлення САВП пропонується розглядати як інвестиційний проєкт, обґрунтування доцільності впровадження якого передбачає реалізацію таких етапів.

1) Визначення складових частин річного економічного ефекту.

2) Визначення розміру інвестицій, ставки дисконтування терміну отримання економічного ефекту.

3) Розрахунок показників, що використовуються для обґрунтування доцільності реалізації інвестиційних проєктів (чистої теперішньої вартості, індексу дохідності та періоду повернення інвестицій).

Конкретизуємо пропозиції щодо впровадження (встановлення та використання) САВП відповідно до сформульованих вище етапів.

1) *Визначення складових частин річного економічного ефекту.*

З огляду на техніко-технологічні та інші особливості практичного використання САВП варто виділити такі складові частини економічного ефекту від запровадження цього інвестиційного проєкту:

– зменшення величини заробітної плати та відрахувань на соціальні заходи внаслідок зменшення кількості машиністів метрополітену (функції машиністів повністю автоматизуються);

– економія електроенергії за рахунок того, що система вибирає оптимальний варіант прискорення й гальмування рухомого складу в процесі надання послуг з пасажирських перевезень.

Далі необхідно навести співвідношення для визначення економічного ефекту та визначити розмір його складових частин.

Економія від зменшення заробітної плати визначається з огляду на кількість машиністів, що задіяні на лінії, їх річну заробітну плату та ставки нарахування соціальних виплат (1):

$$E_{зп} = M \times 3П_M \times 12 \times (1 + СВ), \quad (1)$$

де  $E_{зп}$  – економія від зменшення заробітної плати машиністів метрополітену, тис. грн.;  $M$  – кількість машиністів, осіб;  $3П_M$  – середня місячна заробітна плата машиніста, тис. грн.;  $СВ$  – ставка соціальних виплат, частка одиниці ( $СВ = 0,22$ ).

За результатами аналізу інформації, отриманої в КП «Харківський метрополітен», визначено, що місячна заробітна плата машиніста становить близько 13 тис. грн., а загальна кількість працюючих машиністів станом на 27 липня 2020 р. – 302 особи, що дає можливість визначити величину економії заробітної плати як складової частини економічного ефекту з використанням формули (1). У разі звільнення 150 машиністів величина економічного ефекту становить:

$$E_{зп} = 150 \times 13 \times 12 \times (1 + 0,22) = 28548 \text{ тис. грн.}$$

Далі перейдемо до визначення ефекту від економії електроенергії.

Економія витрат на електроенергію розраховується з огляду на те, скільки її фактично витрачається на лініях метрополітену, коефіцієнт її зниження в разі застосування САВП, питому вагу електроенергії, що витрачається на тягу поїздів, та вартість одиниці електроенергії (2):

$$E_E = E_L \times K_E \times d_{тп} \times B_E, \quad (2)$$

де  $E_E$  – економія витрат на електроенергію, тис. грн.;  $E_L$  – річні витрати електроенергії на лінії, кВт-год.;  $K_E$  – коефіцієнт, що відображає зменшення витрат електроенергії у разі застосування САВП, частка одиниці;  $d_{тп}$  – питома вага електроенергії, що витрачається на тягу поїздів, частка одиниці ( $d_{тп} = 0,525$ );  $B_E$  – вартість одиниці електроенергії, грн./кВт-год.

Для визначення економічного ефекту будемо вважати, що найбільш раціональним є другий режим автоведення поїздів (рис. 1, табл. 2), бо він забезпечує 8–10% економії електроенергії, але не приводить до суттєвого зростання часу очікування поїздів пасажирами (для розрахунків використаємо середнє значення 9%). Результати розрахунку економічного ефекту доцільно представити у таблиці (табл. 3). Особливістю визначення економічного ефекту є також те, що

## Визначення економічного ефекту від економії електроенергії

Показник	Одиниця виміру	Значення
Витрати електроенергії по метрополітену	тис. кВт/год.	89 901,2
Коефіцієнт зменшення витрат	частка одиниці	0,09
Питома вага електроенергії, що витрачається на тягу поїздів	частка одиниці	0,52
Середня вартість електроенергії	грн./кВт/год.	2,54
Річний економічний ефект	тис. грн.	10 686,74

тариф на електричну енергію було визначено пропозиторіально показникам роботи рухомого складу (3):

$$T_{EH} = \frac{O_E}{B_E}, \quad (3)$$

де  $O_E$  – оплата за електроенергію, тис. грн.;  
 $B_E$  – загальні витрати електроенергії, тис.кВт/год.

Визначимо тариф на електроенергію за 2019 р.

$$T_{EH} = \frac{223858}{88114} = 2,54 \text{ грн. кВт / год.}$$

Загальний річний економічний ефект від використання САВП (ЕЗАГ) визначається як сума економії від зменшення заробітної плати машиністів та зменшення обсягів використання електроенергії (4):

$$E_{ЗАГ} = E_{ЗП} + E_E, \quad (4)$$

$$E_{ЗАГ} = 28548 + 10686,74 = 39234,74$$

Проведені розрахунки підтверджують отримання значного економічного ефекту від запровадження САВП, але для оцінювання інвестиційної ефективності цього проекту необхідно визначити орієнтовну величину інвестицій.

2) *Визначення розміру інвестицій та ставки дисконтування.*

Для обґрунтування розміру інвестицій необхідно знайти інформацію про вартість САВП та збільшити її з урахуванням інфляції за потреби. Зокрема, у системі державних закупівель згадується аналогічна система вартістю 4 248,15 тис. грн. на серпень 2019 р. З огляду на актуальність цієї інформації саме цю величину будемо використовувати як суму інвестицій (ціна складається з вартості автоматизованої системи та проектної документації).

Далі необхідно визначити ставку дисконтування для формування теперішньої вартості сукупного економічного ефекту.

Застосування найбільш поширених методів розрахунку ставки дисконтування ускладнюється через

відсутність необхідної інформації (передбачаються такі показники, як середня зважена вартість капіталу та результат застосування моделі капітальних активів), тому ставка дисконтування буде визначена методом кумулятивної побудови. При цьому до складу ставки дисконтування пропонується включити облікову ставку НБУ та систематичний ризик проекту, який умовно приймаємо на рівні 5%, бо КП «Харківський метрополітен» характеризується стабільністю функціонування.

Формула для визначення ставки дисконтування має такий вигляд (5):

$$r = i_{НБУ} + r_p, \quad (5)$$

де  $r$  – ставка дисконтування, частка одиниці;  $i_{НБУ}$  – облікова ставка НБУ у 2019 р., частка одиниці;  $r_p$  – ризик проекту, частка одиниці.

Оскільки облікова ставка НБУ протягом 2019 р. становила близько 17% (з коливаннями в межах 18–15%), визначимо ставку дисконтування проекту зі встановлення САВП:

$$r = 0,17 + 0,05 = 0,22$$

Далі визначимо показники ефективності встановлення та використання САВП.

3) *Розрахунок показників інвестиційної ефективності проекту.*

Перш ніж визначити показники ефективності інвестиційних проектів, необхідно стисло охарактеризувати їх економічний зміст та привести формули щодо їх розрахунків (табл. 4).

Чиста теперішня вартість проекту (NPV) в загальному вигляді відображає економічний ефект від реалізації проекту з урахуванням впливу ризиків на розмір очікуваних грошових потоків і розраховується як різниця між дисконтованими грошовими потоками від проекту та інвестиціями (які також можуть дисконтуватися, якщо вкладаються частинами). У разі дисконтування для інвестицій застосовується

## Формули для визначення показників ефективності інвестицій

Показник	Формула	Умовні позначення
Чиста теперішня вартість (NPV)	$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IC$	$CF_t$ – грошовий потік за рік $t$ , тис. грн.; $r$ – ставка дисконтування, частка одиниці; $t$ – порядковий номер року надходження грошових потоків; $IC$ – інвестиції; $n$ – період реалізації проекту, роки; $DCF_{сер}$ – середній дисконтований грошовий потік.
Індекс дохідності (PI)	$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{IC}$	
Термін повернення інвестицій (PP)	$PP = \frac{IC}{DCF_{сер}}$	

та ж сама ставка дисконтування, що для позитивних (вхідних) грошових потоків.

Індекс дохідності (PI), на відміну від попереднього показника, характеризує ефективність проєкту, бо є відносною величиною і являє собою дисконтовані грошові потоки на одиницю вкладених інвестицій. Для визнання проєкту ефективним значення індексу дохідності має перевищувати одиницю.

Період окупності інвестицій (PP) – це термін, протягом якого величина вкладених інвестицій буде відшкодована інвестору у вигляді дисконтованих грошових потоків. Цей показник здебільшого вимірюється у роках або частках року. Про ефективність проєкту свідчить той факт, що термін отримання грошових потоків є більшим за термін окупності проєкту.

Результати розрахунків свідчать про те, що проєкт зі встановлення та використання САВП є ефективним, що підтверджує сформульований раніше висновок про необхідність його першочергового впровадження у діяльність Харківського метрополітену. Враховуючи значну величину грошових потоків порівняно з інвестиціями, визначимо показники інвестиційної ефективності протягом першого року функціонування проєкту (табл. 5). Варто відзначити, що врахування фактичного терміну використання САВП дає змогу отримати надзвичайно високі показники інвестиційної ефективності проєкту.

**Висновки.** В процесі обґрунтування економічного ефекту від встановлення та використання системи автоматичного ведення поїздів Харківського метрополітену отримано такі результати.

1) Визначено складові частини економічного ефекту та представлено співвідношення для їх розрахунку.

2) Визначено ефект від економії заробітної плати машиністів у розмірі 28 548 тис. грн.

Таблиця 5

### Розрахунок показників ефективності інвестиційного проєкту зі встановлення та використання САВП за перший рік функціонування

Показник	Значення
Інвестиції, тис. грн.	4 248,15
Річний грошовий потік, тис. грн.	39 234,74
Дисконтований множник, частка одиниці	0,819672
Дисконтований грошовий потік, тис. грн.	32 159,62
Чиста теперішня вартість, тис. грн.	27 911,47
Індекс дохідності, частка одиниці	7,57
Період окупності, роки	0,13

3) Розраховано економічний ефект від застосування оптимального режиму роботи САВП, що дає змогу економити 9% електричної енергії, що використовується для тяги поїздів. Величина ефекту склала 10 686,74 тис. грн.

4) Визначено показники інвестиційної ефективності проєкту зі встановлення та використання САВП, що підтверджують доцільність його реалізації. При ставці дисконтування 22% термін повернення інвестицій становить 0,13 року, або приблизно 1,5 місяці протягом першого року експлуатації проєкту.

Таким чином, використання САВП є надзвичайно перспективним напрямом підвищення енергоефективності підприємств підземного транспорту, тому результати роботи можуть бути успішно застосовані на підприємствах підземного транспорту України.

### Бібліографічний список:

1. Палант О.Ю. Стратегія системної модернізації міського електричного транспорту. Харків : Золоті сторінки, 2016. 360 с.
2. Хворост Н.В. Концепция новой структуры системы электрической тяги метрополитена. *Коммунальное хозяйство городов*. 2003. Вып. 53. С. 172–179.
3. Улитин В.Г. Проблема использования избыточной энергии рекуперации на городском электрическом транспорте. *Коммунальное хозяйство городов*. 2009. Вып. 88. С. 266–271.
4. Писарев Л.Т., Черняк Ю.В., Терованесов М.Р. Рекуперативное торможение поездов с использованием энергоёмких конденсаторов. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. 2009. № 17. С. 97–105.
5. Сулим А.А., Ломонос А.И. Расчет энергии рекуперации при установке накопителя на электропоезде метрополитена. *Техніка і технології*. 2013. № 2. С. 22–29.
6. Гольнский А.П., Жданович А.Б. Автоведение поездов метрополитена – базовая функция системы «Движение». *Транспорт Российской Федерации*. 2011. № 3(34). С. 74–75.
7. Новини України та світу. URL: <https://112.ua> (дата звернення: 04.08.2020).
8. Про міський електричний транспорт : Закон України від 29 червня 2004 р. № 1914-IV. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1914-15> (дата звернення: 04.08.2020).
9. Про енергозбереження : Закон України від 1 липня 1994 р. № 74/94-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#o52> (дата звернення: 04.08.2020).

### References:

1. Palant O.Yu. (2016) Stratehiya systemnoyi modernizatsiyi mis'koho elektrychnoho transportu [Strategy of system modernization of urban electric transport]. Kharkiv: Golden Pages.
2. Khvorost N.V. (2003) Kontsepsiya novoy struktury sistemy elektricheskoy tyagi metropolitena [Concept of the new structure of the electric traction system of the metropoliten]. *Utilities of cities*, vol. 53, pp. 172–179.
3. Ulitin V.G. (2009) Problema ispol'zovaniya izbytochnoy energii rekuperatsii na gorodskom elektricheskom transporte [The problem of using excess recuperation energy in urban electric transport]. *Utilities of cities*, vol. 88, pp. 266–271.
4. Pisarev L.T., Chernyak Yu.V., Terovanesov M.R. (2009) Rekuperativnoye tormozheniye poyezdov s ispol'zovaniyem energoyemkikh kondensatorov [Regenerative braking trains using energy-intensive capacitors]. *Zbirnik naukovikh prats' Don'IZT*, no. 17, pp. 97–105.
5. Sulim A.A., Lomonos A.I. (2013) Raschet energii rekuperatsii pri ustanovke nakopitelya na elektropoyezde metropoliten [Calculation of recuperation energy when installing a storage device on an electric subway train]. *Technology and technology*, no. 2, pp. 22–29.
6. Golynskiy A.P., Zhdanovich A.B. (2011) Avtovedeniye poyezdov metropolitena – bazovaya funktsiya sistemy "Dvizheniye" [Metro train driving is the basic function of the "Movement" system]. *Transport of the Russian Federation*, no. 3(34), pp. 74–75.
7. Novyny Ukrayiny ta svitu [News of Ukraine and the world]. URL: <https://112.ua> (accessed 04 August 2020).
8. On urban electric transport: Law of Ukraine of June 29, 2004 № 1914-IV. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1914-15> (accessed 04 August 2020).
9. On energy saving: Law of Ukraine of 01.07.1994 № 74/94-VR. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#o52> (accessed 04 August 2020).