

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПУ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОБУСІВ У ПАСАЖИРСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ МЕГАПОЛІСІВ

Порфіренко В.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, porfirenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0329-6217

Полосухін Д.Г., Національний транспортний університет, Київ, Україна, mrpolosukhin@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3844-8623

ECONOMIC FEASIBILITY FOR APPLICATION OF THE MODULAR PRINCIPLE OF USING ELECTROBUSES IN PUBLIC TRANSPORT OF MEGAPOLISES

Porfirenko V.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, porfirenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0329-6217

Polosukhin D.H., National Transport University, Kyiv, Ukraine, mrpolosukhin@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3844-8623

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ В ПАССАЖИРСКОМ СООБЩЕНИИ МЕГАПОЛИСОВ

Порфіренко В.І., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, porfirenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0329-6217

Полосухін Д.Г., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, mrpolosukhin@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3844-8623

Постановка проблеми.

Останніми десятиріччями перед людством все гостріше постає проблема забруднення атмосферного повітря. Існують два види джерел забруднення повітря: природні і антропогенні (викликані людиною та її діяльністю) [1]. Найбільш згубного впливу надають джерела забруднення антропогенного характеру, основним з яких є викиди з автотранспорту. У цілому по світу з кожним днем збільшується кількість автомобілів, що несе негативні наслідки для довкілля і веде до його забруднення, в особливості вплив вихлопних газів на атмосферне повітря.

Автотранспортний комплекс вважається одним із основних і найбільших забрудників атмосферного повітря. З кожним днем кількість людей, що мають власні авто збільшується. Це негативно позначається на якості повітря, а особливо в густонаселених мегаполісах, де скупчення автомобілів набагато вище за приміські зони. В Україні також наявна тенденція до зростання кількості автотранспорту, всупереч кризовим явищам та зменшенню кількості населення. Внаслідок цього підвищується завантаженість транспортної мережі мегаполісів і йде загострення соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і технічних проблем, пов'язаних зі здоров'ям людей та організацією автодорожнього руху. Викиди відпрацьованих газів автомобільних двигунів налічують понад 100 різних компонентів, основна маса яких має токсичну дію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженнями і розробкою рішень, покликаних вирішити проблеми екологічного впливу автомобільного транспорту і оптимізації завантаженості транспортної мережі, займаються багато учених по всьому світу. Останні декілька років показали стурбованість більшості держав даною проблемою. І навіть Китай, вклад якого у підвищення температури Землі є чи не найбільшим, почав активно впроваджувати заходи по боротьбі з забрудненням навколишнього середовища, в особливості автомобільним транспортом, займаючи перші позиції по кількості електробусів у світі, що експлуатуються.

Існує багато варіантів вирішення екологічних проблем автомобільного транспорту, основним з яких поки що є відмова від використання автомобілів з дизельними двигунами внутрішнього згорання і підвищення використання кількості автомобілів, що живляться електроенергією.

Також не можна забувати про важливість оптимізації руху транспортної системи задля покращення екологічного стану мегаполісів.

Мета дослідження.

Надати і економічно обґрунтувати концепцію модульного використання електробусів для міських пасажирських перевезень у мегаполісах, яка покликана вирішити екологічні аспекти забруднення міст автомобільним транспортом.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Міський пасажирський транспорт міст-мегаполісів оснащений, в основному, дизельними двигунами внутрішнього згорання і є джерелом особливо шкідливих викидів у повітря. За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я через забруднення повітря українці втрачають близько 2,5 років життя, що є одним з найгірших показників у світі [2]. За рівнем смертності через забруднення повітря Україна посідає 5 місце у Європі. У Києві найбільший забруднювач – приватний і комунальний транспорт із двигунами внутрішнього згорання.

У той час, як завдяки карантину повітря у багатьох європейських мегаполісах стало чистішим, у Києві 2020 року навпаки – кілька разів реєстрували рекордну забрудненість повітря. Смог над Києвом нависає час від часу не лише через лісові пожежі на Київщині чи Житомирщині. Постійними забруднювачами повітря в Києві є підприємства енергетики і автотранспорт. І якщо викиди з ТЕЦ як-не-як контролюються з боку Держекоінспекції, то викиди від автотранспорту не регулює ніхто [3].

За даними 152 станцій моніторингу стану атмосферного повітря у місті Києві розглянемо стан забруднення атмосфери мегаполісів внаслідок експлуатації автотранспорту та інших джерел забруднення [4]. Згідно середнього арифметичного значення індексу якості атмосферного повітря (AQI) за період з 18 грудня 2020 року по 17 січня 2021 року можна спостерігати, що загалом по районах у місті Києві значення AQI є на помірному рівні: 63, 65 (чим показник вищий, тим гірший стан повітря) у Печерському і Оболонському районах і 99 у Подільському і Деснянському районах. Найгірший стан повітря спостерігається у Святошинському районі – там рівень досягає позначки 101, даний рівень є шкідливим для чутливих груп населення.

Окрім забруднення повітря, існує й фактор перезавантаженості міських автодоріг в мегаполісах [5]. Так, у 2020 році місто Київ увійшло у десятку міст світу із найбільшими заторами. Про це свідчать дані щорічного дослідження індексу руху транспорту Traffic Index на сайті компанії TomTom, яка займається виробництвом навігаторів та створенням програмного забезпечення для них [6]. У рейтинг увійшли 416 міст у 57 країнах світу на шести континентах. У рейтингу міст з найбільшими заторами Київ посів 7-ме місце у світі і третє місце в Європі. Гірша ситуація серед європейських міст лише в Стамбулі та в Москві. У порівнянні з 2019 роком, де Київ займав 12-те місце у світовому рейтингу заторів, ситуація погіршилась. Загалом протягом 2020 року по світу спостерігалось зменшення відсотку рівня завантаженості доріг, це насамперед пов'язано з пандемією Covid-19, тому на момент жорсткого карантину (48 днів) трафік у місті Києві був найменший за весь рік. Хоча загалом відсоток рівня завантаженості доріг Києва у 2020 році зменшився у порівнянні з 2019 роком, Київ усе одно піднявся у рейтингу з 12 на 7 місце по світу. Середні втрати часу в столичних заторах по Києву у 2020 році становлять 51 %. 51 % завантаженості доріг у Києві означає, що 30-ти хвилинна поїздка по Києву займе на 51 % більше часу ніж при незавантаженому русі транспорту. Можна перевести 51 % у час подорожі використовуючи простий підрахунок:

- 1) $0,51 \times 30$ хвилин = 15,3 хвилини в середньому додаткового часу в дорозі;
- 2) 30 хвилин + 15,3 хвилини = 45,3 хвилин загалом [7].

Це означає, що киянин/ка в середньому витрачає на дорогу на 15,3 хвилини більше на кожні 30 хвилин часу. Середній рівень заторів у світі сягає 29 %, в Одесі він – 44 %, у Харкові 43 %, у Дніпрі – 38 %.

З рисунку 1 видно, що у Києві існує нестационарність потоку пасажирських перевезень в залежності від години доби. Тобто зазвичай з сьомої до дев'ятої ранку і з п'ятої по сьому вечора у Києві присутня підвищена завантаженість доріг. Найбільша завантаженість припадає на шосту – сьому вечора, наприклад, у вівторок (згідно з рисунку 1) можна спостерігати, що завантаженість перевищує позначку в 100 % і досягає позначки в 107 % (!), це означає, що киянин/ка ввечері у вівторок може витратити на дорогу в два рази більше часу ніж зазвичай.

Слід зазначити, що шляхи подолання екологічного та транспортного колапсу в світі відомі. До них відносяться:

- відмова від рухомого складу з дизельними двигунами внутрішнього згорання на користь електричних автомобілів та електробусів;
- зменшення загальної кількості автомобілів на дорогах шляхом мотивації водіїв власного транспорту користуватися громадським транспортом;
- розвиток якісної пішохідної та велосипедної інфраструктури;
- заборона «негромадським» транспортним засобам в'їзду до центру міста;
- перенесення центральної локації державних установ на периферію міста;
- оптимізація пасажиромісткості рухомого складу з урахуванням нестационарності потоку пасажирів по годинах доби, днях тижня та місяцях року;
- підготовка та застосування на околицях міста паркувальних площадок для автомобілів, водії та пасажирів яких пересаджуються на громадський транспорт;
- підготовка та застосування багатоповерхових підземних та надземних паркувальних стоянок у перезавантажених транспортних ділянках міста.

	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
12:00 AM	4%	2%	2%	3%	3%	4%	6%
	4%	2%	2%	3%	2%	3%	5%
02:00 AM	3%	2%	2%	3%	2%	3%	4%
	3%	2%	3%	3%	3%	3%	3%
04:00 AM	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%
06:00 AM	1%	9%	9%	9%	9%	9%	3%
	2%	56%	56%	54%	52%	48%	7%
08:00 AM	4%	87%	89%	84%	79%	72%	12%
	7%	88%	77%	71%	67%	60%	19%
10:00 AM	11%	50%	67%	63%	59%	56%	27%
	16%	42%	65%	61%	57%	57%	35%
12:00 PM	21%	41%	62%	61%	57%	61%	42%
	24%	43%	64%	62%	60%	65%	44%
02:00 PM	26%	44%	63%	61%	60%	67%	43%
	25%	46%	64%	62%	62%	72%	39%
04:00 PM	25%	52%	71%	68%	70%	86%	35%
	25%	71%	94%	88%	90%	97%	31%
06:00 PM	23%	84%	107%	99%	101%	92%	27%
	20%	57%	76%	69%	70%	63%	21%
08:00 PM	17%	31%	41%	38%	39%	37%	17%
	13%	17%	21%	20%	21%	21%	14%
10:00 PM	9%	9%	11%	11%	12%	14%	10%
	5%	5%	6%	6%	7%	9%	7%

Рисунок 1 – Тижневе завантаження доріг за годинами доби [6]
 Figure 1 – Weekly traffic congestion by time of day [6]

Світ переходить на електричні автомобілі, шкідливі викиди від роботи двигунів котрих майже відсутні. Заміну автобусів з дизельними двигунами на електробуси здійснюють всі розвинені країни та виробники пасажирського громадського транспорту.

Китай наразі домінує на ринку електробусів. Станом на 2019 рік Китай мав більш ніж 400 000 одиниць електробусів, це приблизно 99 % від загальної кількості електробусів у світі. Це тому що більш ніж десятиліття тому Китай почав пріоритизувати електрифікацію громадського транспорту за допомогою субсидювання та державного регулювання [8].

У Європі найбільший електробусний парк поки що знаходиться у Москві і налічує 500 одиниць рухомого складу.

В Україні є декілька підприємств, які займаються випуском електричного громадського транспорту. Одним з таких підприємств, що займається електробусним виробництвом є завод «Богдан», а саме «Автоскладальний завод №1», що розташований у Луцьку. На ньому виготовляється міський низькопідлоговий електроавтобус, з загальною пасажиромісткістю 90 чол. На електробусі встановлені Li-Ion батареї акумуляторів та синхронний тяговий двигун на постійних магнітах [9].

У Львові українсько-німецьке підприємство «Електротранс» виготовляє 12-ти метровий низькопідлоговий електробус загальною пасажиромісткістю 100 чоловік [10], характеристики батарей якого дозволяють здійснювати швидку зарядку великим струмом (за 15-20 хвилин до 70%), а система контролю й обслуговування батареї (Battery Management System, BMS) безперервно відстежує параметри режиму роботи акумуляторної батареї та стан окремих ланок [11]. Також львівське підприємство недавно розробило перший тролейбус з автономним ходом, який здатен працювати як від контактної мережі, так і на акумуляторах. Загалом це потрібно для зручності пасажирів тобто їхати одним видом транспорту і купувати лише один квиток.

Слід зазначити, що в Україні є кілька моделей тролейбусів з автономним ходом, які впродовж останніх років активно експлуатують на маршрутах у великих містах. Наприклад, у Дніпрі, Чернівцях, Рівному, Краматорську, Кривому Розі та Запоріжжі використовують модель «Дніпро Т203», які були зібрані на дніпровському заводі «Південмаш» із деталей «Мінського автомобільного заводу». Такий тролейбус має опцію автономного ходу до 20 км [12].

Також Державне космічне агентство України в інтересах дніпровського заводу «Південмаш» та південнокорейська компанія Saigis підписали відповідний Меморандум щодо співпраці. Згідно з ним, до 2023 року має зійти з конвеєра 5 тисяч електробусів та 7,8 тисячі зарядних станцій [13].

Альтернативою електромобілям можуть бути й авто з водневими двигунами, але складність виробництва, технічної експлуатації та необхідність створення мережі водневих заправок наразі обмежує їх широке застосування.

Застосування електробусів зменшує забруднення навколишнього середовища, але не вирішує проблему заторів в мегаполісах. До вирішення проблеми треба підійти комплексно. Ми не можемо суттєво вплинути на нестаціонарність потоку пасажирів, але можемо й мусимо випускати на лінію різномісткий рухомий склад у різні години доби. У години «пік» треба обмежити загальну кількість автомобілів й випускати найбільші за пасажиромісткістю електробуси, в години пізнього вечора та нічні – розраховані на обмежену кількість пасажирів, в інші години доби мають випускатись середньомісткі електробуси. Випуск такої гами рухомого складу та закупівля їх містами є доволі дорогою програмою. Обмежити витрати як виробників, так і експлуатаційників, має модульний принцип виробництва та застосування електробусів.

Концепція модульного використання електробусів передбачає випуск електротягача та пасажирських електропричепів до нього [14, 15]. Електротягачем може виступати багатофункціональна електрична вантажівка, а електропричепом буде виступати рухомий склад для перевезення пасажирів.

Нещодавно «Автоскладальний завод №1» автомобільної компанії «Богдан Моторс», запатентував багатофункціональну електричку вантажівку (рисунок 2). Вперше українську повністю електричну вантажівку було представлено 22 листопада 2018 року. Тоді основним призначенням вантажівки вважалось її використання зі встановленням спеціального обладнання для збору та доставлення твердих побутових відходів з вулиць європейських міст до місць перероблювання. Електропривід забезпечував відсутність шкідливих викидів в рамках експлуатації в урбанізованій місцевості. Електровантажівка від вітчизняного підприємства здатна розвивати швидкість до 80 км/год. Запас ходу без підзарядки тягових батарей при повній допустимій масі автомобіля становить 220 кілометрів, а термін експлуатації цієї техніки сягає 12 років [16].



Рисунок 2 – Електровантажівка від компанії «Богдан Моторс» [16]

Figure 2 – Electric truck from «Bogdan Motors» company [16]

Під час робочої зміни до електротягача можуть причеплятися різні за пасажиромісткістю причепи-модулі. В години пік це має бути великомісткий рухомий склад, у вечірньо-нічний час – маломісткий. Виходячи з потреб пасажироперевезень, модульні електробуси умовно можна поділити за пасажиромісткістю на три групи (рисунок 3) [14]:

- маломісткі (small capacity);
- середньомісткі (middle capacity);
- великомісткі (large capacity).

Тобто, у залежності від пасажиропотоку, міський перевізник зможе регулювати місткість, раціонально використовуючи рухомий склад. Кожна така електромашина має складатися з тягача та можливих модулів, які по чергово причеплюють до електротягача. Кожен модуль матиме свій акумулятор і житиметься незалежно від інших модулів. Модулі відстоюватимуться на кінцевих пунктах обороту електробусів, де зможуть підзаряджатися від спеціальних станцій-зарядок.

На даний момент ефективність підзарядки акумуляторів електропричепів залежить від типу батареї і, виходячи з цього, можливості використовувати швидку зарядку. Також рівень заряду, а в результаті і запас ходу, при температурі повітря нижче нуля, може бути набагато меншим ніж зазвичай. Так як в деяких регіонах України зими можуть бути доволі прохолодними, є сенс у розробці батарей, які б мали стійкість до екстремальних кліматичних умов.

Нещодавно Французька компанія Forsee Power оголосила про підготовку до виробництва найтонших у світі батарей для електробусів. Новий формат батареї Forsee Power SLIM буде доступний у версіях ZEN high-energy (нічна зарядка) і FLEX energy-and-power (зарядка через пантограф). Батареї SLIM також матимуть інтегровану систему рідинного охолодження для регулювання температури модулів, розміщених в корпусі, що оптимізує їхній термін служби і продуктивність. Ця система управління теплом дозволяє експлуатувати батареї в екстремальних кліматичних умовах [17].

Також зарядка акумуляторних батарей електробусів може займати довгий час. В залежності від об'єму батареї і подачі струму на станції підзарядки, час може коливатися від 1 до 8 годин [18]. Тому на пунктах обороту електробусів у довгостроковій перспективі є сенс розглядати варіант зі створення станції швидкісної заміни розряджених батарей на заряджені (battery swapping), це надасть можливість «перезаряджати» батареї електробусів за лічені хвилини [19].

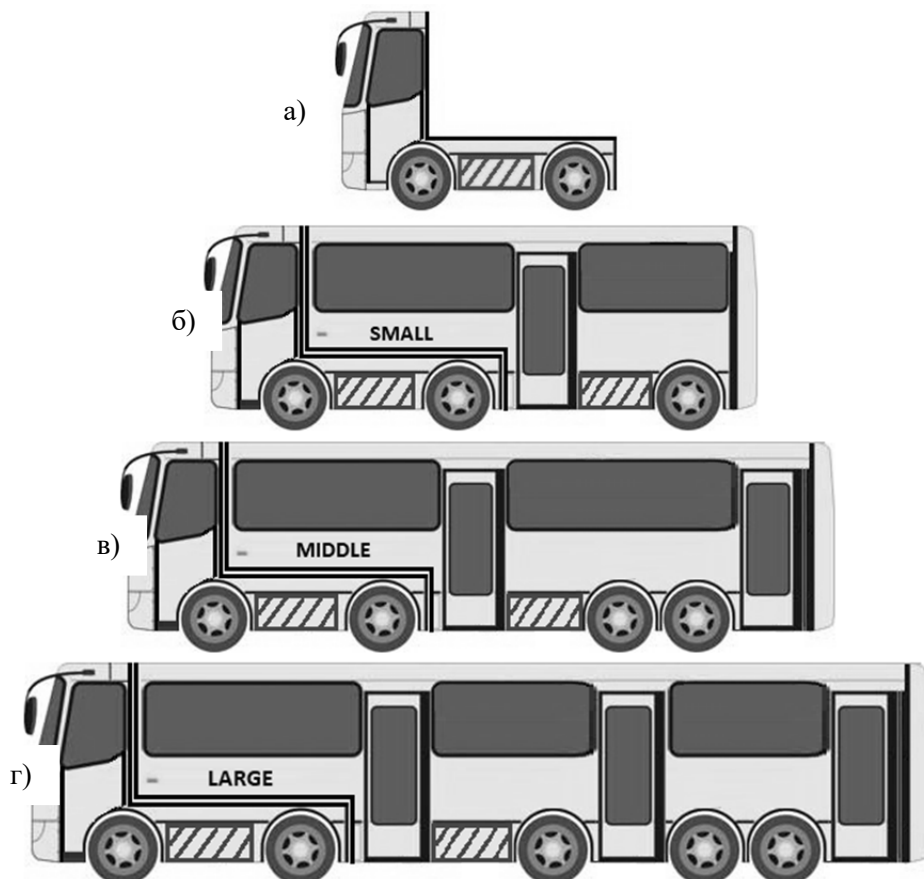


Рисунок 3 – Модульна організація формування пасажирського електробуса
Figure 3 – Electric bus formation using modular approach



– акумуляторні батареї електробусів та напівпричепів.

а) модульний електротягач;

б) маломісткий (small capacity);

в) середньомісткий (middle capacity);

г) великомісткий (large capacity).

Загалом якщо правильно розрахувати і ефективно оптимізувати кількість електротягачів і рухомого складу електропричепів, враховуючи нестаціонарність пасажиропотоку, можливо досягнути мінімального простою електротягачів на пунктах обороту електробусів. Тобто обрати таку оптимальну кількість рухомого складу, з якою протяжність очікування заряджання батарей буде зведено до мінімуму.

У вранішні та вечірні години-пік електротягач має транспортувати великомісткі електропричепи, в міжпіковий період – середньомісткі, а в періоди низького пасажиропотоку (пізній вечірній й нічний час, у вихідні та святкові дні) – маломісткі автопричепи. Кількість та склад рухомого складу в кожну годину на маршруті має визначатися з урахуванням комплексу факторів: трафікової завантаженості, стану екологічного забруднення на маршруті, нестаціонарності пасажиропотоку, сезонності, днів тижня, годин доби тощо. Така модульна система дозволить гнучко реагувати на потреби зміни пасажиромісткості рухомого складу електробусів протягом робочої зміни. Кількість автотягачів та їх водіїв (в довгостроковій перспективі можливе автоматизоване застосування електробусів взагалі без водіїв) при модульному принципі менше загальної кількості автоелектропричепів, що веде до значного скорочення загальних витрат пасажироперевезень та економічної ефективності системи [20].

Ефективне використання запропонованої модульної системи передбачає також і синергичний ефект від непасажирського застосування електротягачів – для роботи з вантажними, комунсервісними та спеціальними причепами-модулями (рисунок 4).



Рисунок 4 – Варіанти непасажирського застосування електротягачів
Figure 4 – Other possible usages for electric trucks

Масове використання електроавтомобілів та переведення пасажирських автоперевезень на електробусний рухомий склад дозволить значно зменшити екологічне забруднення навколишнього середовища та знизити «парниковий ефект». Доповнити позитивний екологічний ефект електричної тяги має інноваційна модульна система застосування автобусних електротягачів та різноманітних за пасажиромісткістю електропричепів при виконанні маршрутних перевезень в містах-мегаполісах. Перед автопромисловістю має постати завдання розробити типоряд модульного рухомого електричного автобусного складу.

Висновки.

Ера автомобільного рухомого складу з дизельними двигунами внутрішнього згорання закінчується. Шкідливий вплив на атмосферу автомобільних викидів традиційних авто з двигунами, працюючими на бензині, дизпаливі та газу, заважає існувати людству. Треба переходити на безвикидову електричну тягу (вже є й водневі серійні автомобілі, але створити масову мережу заправок водневих двигунів на разі складно і дорого, це задача майбутнього). Масове використання електроавтомобілів та переведення пасажирських автоперевезень на електробусний рухомий склад дозволить значно зменшити екологічне забруднення навколишнього середовища та знизити «парниковий ефект». Доповнити позитивний екологічний ефект електричної тяги має інноваційна модульна система застосування автобусних електротягачів та різноманітних за пасажиромісткістю електропричепів при виконанні маршрутних перевезень в містах-мегаполісах. Модульний принцип формування електробусних маршрутів дозволить оптимізувати загальні витрати на перевезення та врахувати маючу місце сезонну, тижневу та добову нестаціонарність пасажиропотоків. Перед автопромисловістю має постати завдання розробити типоряд модульного рухомого електричного автобусного складу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стаття «Забруднення повітря» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Забруднення_повітря
2. Стаття «Електромобілі – майбутнє, метан – теперішнє. Як швидко покращити ситуацію із забрудненням повітря в Україні» [Електронний ресурс] / НВ, Макогон С., 2019. – Режим доступу: <https://nv.ua/ukr/biz/experts/gaz-na-avto-gbo-ekonomichno-dlya-vlasnikiv-chisto-dlya-navkolishnogo-seredovishcha-vidno-dlya-ukrajini-50036086.html>
3. Стаття «Забруднення повітря у Києві: що робити зі смогом і заторами» [Електронний ресурс] / DW, Індюхова О., 2020. – Режим доступу: <https://www.dw.com/uk/zabrudnennia-povitria-u-kyievi-shcho-robyty-zi-smohom-i-zatoramy/a-55963624>
4. Інтерактивна мапа рівню забруднення атмосферного повітря у місті Києві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.saveecobot.com/maps/kyiv>
5. Порфіренко В.І. Аналіз стану громадського транспорту міста Києва / В.І. Порфіренко, М.М. Гребельник, Д.Г. Полосухін // Соціально-гуманітарний вісник. – Харків: СТНТМ «Новий курс» – 2019. – Вип. 28. – С. 91 – 94.
6. The TomTom traffic index ranking for Kyiv. (n.d.). tomtom.com. Retrieved from https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/kyiv-traffic/#statistics
7. The methodology of traffic index calculation. (n.d.). tomtom.com. Retrieved from https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/about/
8. Margolis, J. (2019). China dominates the electric bus market, but the US is getting on board. pri.org. Retrieved from <https://www.pri.org/stories/2019-10-08/china-dominates-electric-bus-market-us-getting-board>
9. Сайт ДП «АВТОСКЛАДАЛЬНИЙ ЗАВОД №1» корпорації «Богдан» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://busplant.bogdan.ua/>
10. Стаття «Електрон Е19101» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрон_Е19101
11. Сайт корпорації «Електрон» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eltrans.electron.ua/electrobuses/>
12. Стаття «Львівський “Електрон” розробив перший тролейбус з автономним ходом» [Електронний ресурс] / zaxid.net, Чурилова К., 2020. – Режим доступу: https://zaxid.net/lvivskiy_elektron_rozrobiv_pershiy_trolleybus_z_avtonomnim_hodom_n1504358
13. Офіційний прес реліз державного підприємства «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод ім. О. М. Макарова» [Електронний ресурс] / 2020. – Режим доступу: <https://yuzhmash.com/ua/pidpisano-memorandum-pro-spiivpratsyu-z-kompaniyeyu-caris/>
14. Порфіренко В.І. Аналіз парку електричних автомобілів та перспективи модульного застосування електробусів в мегаполісах. / В.І. Порфіренко, М.М. Гребельник, Д.П. Дехтяренко // Вісник «економічні науки ЧНУ – Черкаси: Випуск 3, 2019 – С.146 – 155.
15. Порфіренко В.І. Впровадження модульних електробусів як шлях зменшення заторів та забруднення повітря в містах мегаполісах. / В.І. Порфіренко, Д.П. Дехтяренко // Збірник міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційне підприємництво, менеджмент, фінанси: стан, аналіз тенденцій та науково-економічний розвиток». – Науково-практичний журнал «Економічні студії», м. Львів: 2019. – Випуск 4 (26). – С. 27 – 29.
16. Стаття «Українське підприємство запатентувало електричний вантажний автомобіль» [Електронний ресурс] / uprom.info, Христофоров В., 2020 – Режим доступу: <https://uprom.info/news/cars/ukrayinske-pidpryyemstvo-zapatentovalo-elektrychnyj-vantazhnyj-avtomobil/amp/>
17. Wordsworth, S. (2021). Forsee Power unveils new generation of extra-thin batteries Retrieved from <https://www.ivtinternational.com/news/hybrid-electric-vehicles/forsee-power-unveils-new-generation-of-extra-thin-batteries.html>
18. How long does it take to charge an electric car. (2020). Retrieved from <https://podpoint.com/guides/driver/how-long-to-charge-an-electric-car#:~:text=The%20time%20it%20takes%20to,with%20a%207kW%20charging%20point>

19. Sharma, Y. (2020). Efficiency parameters soon to aid EV battery swapping. Retrieved from <https://auto.economicstimes.indiatimes.com/news/policy/efficiency-parameters-soon-to-aid-ev-battery-swapping/74073584>

20. Порфіренко В.І. Перспективи розвитку та ефективного застосування електричних автобусів при виконанні пасажирських перевезень. – 36.: Соціально-компетентне управління корпораціями в умовах поведінкової економіки: – Луцьк, ССНУ, 2020, с.108 – 112.

REFERENCES

1. Stattia «Zabrudnennia povitria» [Wikipedia article about air pollution]. (n.d.). uk.wikipedia.org. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Забруднення_повітря [in Ukrainian]

2. Makohon, S. (2019). Stattia «Elektromobili – maibutnie, metan – teperishnie. Yak shvydko pokrashchyty sytuaciiu iz zabrudnenniam povitria v Ukraini» [Electric vehicles is the future; methane is the present. How to quickly improve the situation with air pollution in Ukraine]. nv.ua. Retrieved from <https://nv.ua/ukr/biz/experts/gaz-na-avto-gbo-ekonomichno-dlya-vlasnikov-chisto-dlya-navkolishnogo-seredovishcha-vigidno-dlya-ukrajini-50036086.html> [in Ukrainian]

3. Indiukhova, O. (2020). Stattia «Zabrudnennia povitria v Kyievi: shcho robyty zi smohom i zatoramy» [Air pollution in Kyiv: how to deal with smog and traffic jams]. dw.com. Retrieved from <https://www.dw.com/uk/zabrudnennia-povitria-u-kyievi-shcho-robyty-zi-smohom-i-zatoramy/a-55963624> [in Ukrainian]

4. Interaktyvna mapa rivniu zabrudnennia atmosfernoho povitria u misti Kyievi [Interactive map of air pollution levels in Kyiv]. (n.d.). saveecobot.com. Retrieved from <https://www.saveecobot.com/maps/kyiv> [in Ukrainian]

5. Porfirenko, V.I., Hrebelnyk, M.M. & Polosukhin, D.H. (2019). Analiz stanu hromadskoho transportu mista Kyieva [Analysis of the state of public transport in Kyiv]. *Socialno-humanitarnyi visnyk – Socio-humanitarian herald*, (issue 28), (pp. 91 – 94). Kharkiv: STNTM «Novyi Kurs»

6. The TomTom traffic index ranking for Kyiv. (n.d.). tomtom.com. Retrieved from https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/kiev-traffic/#statistics

7. The methodology of traffic index calculation. (n.d.). tomtom.com. Retrieved from https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/about/

8. Margolis, J. (2019). China dominates the electric bus market, but the US is getting on board. pri.org. Retrieved from <https://www.pri.org/stories/2019-10-08/china-dominates-electric-bus-market-us-getting-board>

9. Sait DP «Avtoskladalni zavod №1» korporatsii «Bohdan» [Site of DP «Avtoskladalni zavod №1» of Bohdan corporation]. (n.d.). busplant.bogdan.ua. Retrieved from <http://busplant.bogdan.ua/> [in Ukrainian]

10. Stattia «Electron E19101» [Wikipedia article about «Electron E19101»]. (n.d.). uk.wikipedia.org. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрон_E19101 [in Ukrainian]

11. Sait korporatsii «Elektron» [Site of Electron corporation]. (n.d.). eltrans.electron.ua. Retrieved from <http://eltrans.electron.ua/electrobuses/> [in Ukrainian]

12. Churylova, K. (2020). Stattia «Lvivskiyi “Elektron” rozrobiv pershyi troleibus z avtonomnym khodom» [Lviv’s Electron company developed first trolleybus which can go off-wire]. zaxid.net. Retrieved from https://zaxid.net/lvivskiy_elektron_rozrobiv_pershiy_trolleybus_z_avtonomnim_hodom_n1504358 [in Ukrainian]

13. Oficiinyi pres reliz derzhavnogo pidpriemstva «Vyrobnyche obiednannia Pivdennyi mashynobudivnyi zavod im. O. M. Makarova» [Official press release of Production Union Southern Machine-Building Plant named after A. M. Makarov]. (2020). Retrieved from <https://yuzhmash.com/ua/pidpisano-memorandum-pro-spivpratsyu-z-kompaniyeyu-caris/> [in Ukrainian]

14. Porfirenko, V.I., Hrebelnyk, M.M. & Dekhtiarenko, D.P. (2019). Analiz parku elektrychnykh avtomobiliv ta perspektyvy modulnogo zastosuvannia elektrobusev v mehapolisakh [Analysis of the fleet of electric cars and prospects for modular use of electric buses in megapolises]. *Visnyk ekonomichni nauky CHNU – Herald of economic science*, (issue 3), (146 – 155). Cherkasy

15. Porfirenko, V.I., & Dekhtiarenko, D.P. (2019). Vprovadzhennia modulnykh elektrobusev yak shliakh zmenshennia zatoriv ta zabrudnennia povitria v mistakh mehapolisakh [Implementation of modular

electric buses as a way to reduce congestion and air pollution in megapolises]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal «Ekonomichni studii» – Scientific journal “Economical studies”*, (issue 4), (27 – 29). Lviv

16. Khrystoforov V. (2020). *Stattia «Ukrainske pidpriemstvo zapatentovalo elektrychnyi vantazhnyi avtomobil» [Ukrainian company has patented electric truck]*. uprom.info. Retrieved from <https://uprom.info/news/cars/ukrayinske-pidpriyemstvo-zapatentovalo-elektrychnyj-vantazhnyj-avtomobil/amp/>

17. Wordsworth, S. (2021). *Forsee Power unveils new generation of extra-thin batteries*. Retrieved from <https://www.ivtinternational.com/news/hybrid-electric-vehicles/forsee-power-unveils-new-generation-of-extra-thin-batteries.html>

18. *How long does it take to charge an electric car.* (2020). Retrieved from <https://podpoint.com/guides/driver/how-long-to-charge-an-electric-car#:~:text=The%20time%20it%20takes%20to,with%20a%207kW%20charging%20point>

19. Sharma, Y. (2020). *Efficiency parameters soon to aid EV battery swapping*. Retrieved from <https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/policy/efficiency-parameters-soon-to-aid-ev-battery-swapping/74073584>

20. Porfirenko, V.I. (2020). *Perspektyvy rozvytku ta efektyvnoho zastosuvannia elektrychnykh avtobusiv pry vykonanni pasazhyrskykh perevezen [Prospects for the development and effective use of electric buses in public transport]. Sotsialno-kompetentne upravlinnia korporatsiiamy v umovakh povedinkovoi ekonomiky – Socially competent management of corporations in a behavioral economy, (108 – 112). Lutsk: SENU*

РЕФЕРАТ

Порфіренко В.І. Економічне обґрунтування застосування модульного принципу використання електробусів у пасажирському сполученні мегаполісів / В.І. Порфіренко, Д.Г. Полосухін // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Економічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2021. – Вип. 2 (49).

В роботі був проведений аналіз завантаженості транспортної мережі міста Києва автомобілями та їхній вплив на забруднення повітря у місті і запропоновані шляхи вирішення проблем, які з цим пов'язані.

Об'єкт дослідження – наземний електробусний громадський транспорт.

Мета роботи – на основі аналізу показників рівня забрудненості повітря, індексу перезавантаженості транспортної мережі та нестаціонарності пасажиропотоку запропонувати інноваційний модульний підхід до використання пасажирського електричного автобусного транспорту.

Методи дослідження – загальнонаукові.

Місто Київ займає 7 місце у світі за рівнем перезавантаженості транспортної мережі і кількості часу, який люди додатково витрачають через затори. Перезавантаженість мережі автомобільним транспортом веде за собою не тільки до заторів, а й до погіршення екологічної ситуації у місті.

Автори статті роблять аналіз забрудненості повітря та стану завантаженості доріг міста Києва. З метою покращення поточної ситуації у місті запропоновано концепція модульного використання електробусів, що передбачає випуск електротягача та пасажирських електропричепів (модулів) різної місткості до нього.

Застосування електробусів зменшує забруднення навколишнього середовища, але не вирішує проблему заторів в мегаполісах. До вирішення проблеми треба підійти комплексно. Автори дійшли висновку, що суттєво вплинути на нестаціонарність потоку пасажирів неможливо, але можливо випускати на лінію різномісткий рухомий склад у різні години доби. У години «пік» пропонується обмежити загальну кількість автомобілів й випускати електробус із найбільшим за пасажиромісткістю модулем, в години пізнього вечора та нічні – модулі, розраховані на обмежену кількість пасажирів, в інші години доби пропонується випуск електробусів з модулем середньої місткості.

Модульний принцип формування електробусних маршрутів дозволить оптимізувати загальні витрати на перевезення та врахувати маючу місце сезонну, тижневу та добову нестаціонарність пасажиропотоків. Перед автопромисловістю має постати завдання розробити типоряд модульного рухомого електричного автобусного складу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОБУС, МЕГАПОЛІС, ЕКОЛОГІЯ, ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, АВТОБУСНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП, УПРАВЛІННЯ.

ABSTRACT

Porfirenko V.I., Polosukhin D.H. Economic feasibility for application of the modular principle of using electrobuses in public transport of megapolises. *Visnyk National Transport University. Series «Economic sciences». Scientific and Technical Collection.* – Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 2 (49).

The article analyzes congestion of the urban transport network in Kyiv and its impact on air pollution in the city and suggests ways to solve problems that occur because of it.

The object of the study is public transport, specifically electric buses.

The purpose of the work is to propose an innovative approach to the use of electric buses using analysis of air pollution indicators, the traffic index of urban congestion and the non-stationarity of the passenger flow.

Research methods are generally scientific.

The city of Kyiv ranks number 7 in the world in terms of traffic congestion and the amount of added time that people spend due to congestion. The transport network overload leads not only to congestion, but also to air pollution in the city.

The authors of the article analyze the air pollution and the state of congestion on the roads of Kyiv. In order to improve the current situation in the city, the concept of modular use of electric buses is proposed, which envisions production of electric trucks and electric trailers for passenger transportation (modules) to it.

The use of electric buses reduces environmental pollution, but does not solve the problem of congestion in megapolises. The solution to the problem must use comprehensive approach. The authors came to conclusion that it is not possible to significantly influence the non-stationary flow of passengers, but it is possible to release a fleet with different passenger capacity at different times of the day. During rush hours the proposal is to limit the total number of cars and release an electric bus with the module of the largest capacity, in the late evening and at night release fleet with modules designed for a small number of passengers, in other hours release electric buses with a medium capacity module.

The modular principle of formation of electric bus routes will optimize the general expenses for transportation and will take into consideration seasonal, weekly and daily non-stationary flow of passengers. Development of this modular electric vehicles will be the task for automotive industry.

KEY WORDS: ELECTRIC BUS, MEGAPOLIS, ECOLOGY, PASSENGER TRANSPORTATION, BUS TRANSPORTATION, MODULAR PRINCIPLE, MANAGEMENT.

РЕФЕРАТ

Порфиренко В.И. Экономическое обоснование применения модульного принципа использования электробусов в пассажирском сообщении мегаполисов / В.И. Порфиренко, Д.Г. Полосухин // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Экономические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2021. – Вып. 2 (49).

В работе был проведен анализ загруженности транспортной сети города Киева автомобилями, определено их влияние на загрязнение воздуха в городе и предложены пути решения проблем, которые с этим связаны.

Объект исследования – наземный электробусный общественный транспорт.

Цель работы – на основе анализа показателей уровня загрязненности воздуха, индекса перезагруженности транспортной сети и нестационарности пассажиропотока предложить инновационный модульный подход к использованию пассажирского электрического автобусного транспорта.

Методы исследования – общенаучные.

Город Киев занимает 7 место в мире по уровню перезагруженности транспортной сети и количества времени, которое люди дополнительно тратят из за пробок. Перегруженность сети автомобильным транспортом ведет за собой не только к заторам, но и к ухудшению экологической ситуации в городе.

Авторы статьи делают анализ загрязненности воздуха и состояния загруженности дорог города Киева. С целью улучшения текущей ситуации в городе предложена концепция модульного

использования электробусов, предусматривающая выпуск электротягачей и пассажирских электроприцепов (модулей) к ним.

Применение электробусов уменьшает загрязнение окружающей среды, но не решает проблему пробок в мегаполисах. К решению проблемы надо подойти комплексно. Авторы пришли к выводу, что существенно повлиять на нестационарность потока пассажиров невозможно, но возможно выпускать на линию ризноемкий подвижной состав в разное время суток. В часы «пик» предлагается ограничить общее количество автомобилей и выпускать электробусы с наибольшим по пассажироместимости модулем, в часы позднего вечера и ночные – модули, рассчитанные на ограниченное количество пассажиров, в другие часы суток предлагается выпуск электробусов с модулем средней вместимости.

Модульный принцип формирования электробусных маршрутов позволит оптимизировать общие затраты на перевозку и учесть имеющую место сезонную, недельную и суточную нестационарность пассажиропотоков. Перед автопромышленностью должна быть поставлена задача разработать типоряд модульного подвижного электрического автобусного состава.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭЛЕКТРОБУС, МЕГАПОЛИС, ЭКОЛОГИЯ, ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ, АВТОБУСНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ, МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП, УПРАВЛЕНИЕ.

АВТОРИ:

Порфіренко В.І., Національний транспортний університет, e-mail: porfirenko@gmail.com, тел.: +380675034433, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 313

Полосухін Д.Г., Національний транспортний університет, e-mail: mrpolosukhin@gmail.com, тел.: +380990971234, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 313

AUTHORS:

Porfirenko V.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: porfirenko@gmail.com, tel.: +380675034433, Ukraine, 01010, Kyiv, str. M. OmelyanovichPavlenko, 1, k. 313

Polosukhin D.H., National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: mrpolosukhin@gmail.com, tel.: +380990971234, Ukraine, 01010, Kyiv, str. M. OmelyanovichPavlenko, 1, k. 313

АВТОРЫ:

Порфіренко В.І., Національний транспортний університет, Киев, Украина, e-mail: porfirenko@gmail.com, тел.: +380675034433, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. ОмеляновичПавленко, 1, к.313

Полосухін Д.Г., Національний транспортний університет, Киев, Украина, e-mail: mrpolosukhin@gmail.com, тел.: +380990971234, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. ОмеляновичПавленко, 1, к.313

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Карпенко О.О., доктор економічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, завідувач кафедри менеджмент, публічного управління та адміністрування, Київ, Україна.

Бондар Н.М., доктор економічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету економіки та права, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Karpenko O.O., Ph.D., Professor, State University of Infrastructure and Technology, Head of Department of Management, Kyiv, Ukraine.

Bondar N.M., Ph.D., Professor, National Transport University, Dean of Faculty of Economics and Law, Kyiv, Ukraine.