

В. О. ПРОЦЕНКО

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-3468-4952

ПЕРСПЕКТИВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО СПОЛУЧЕННЯ В МІСТІ ХЕРСОНІ ЗАСТОСУВАННЯМ ТРОЛЕЙБУСІВ З АВТОНОМНИМ ХОДОМ

Робота містить аналіз показників якості пасажирського сполучення в м. Херсоні. Показано, що основний обсяг перевезень виконується автобусами малого та середнього класу, на тролейбусні перевезення випадає лише четверта частина загального обсягу. Відмічено, що наявність значної кількості сумісних ділянок в маршрутній мережі пасажирського транспорту м. Херсон призвело до недобросовісної конкуренції на маршрутах, що, зокрема, стало причиною занепаду тролейбусних перевезень. Показано, що з використанням існуючої тролейбусної мережі можливо підвищити якість обслуговування пасажирів шляхом удосконалення існуючих та створення нових маршрутів за рахунок застосування тролейбусів з автономним ходом. Робота містить пропозиції щодо удосконалення існуючих маршрутів а також схеми 13 нових міських маршрутів для тролейбусів з автономним ходом, що сполучають основні райони м. Херсона між собою, з основними установами охорони здоров'я, навчальними закладами. Для розроблених схем визначено довжини руху під контактною мережею та автономним ходом, що дало можливість виконувати техніко-економічні розрахунки. Виконані розрахунки потрібної ємності тягових акумуляторних батарей, що треба враховувати при плануванні інвестицій та енергоспоживання.

Показано, що на першому етапі впровадження тролейбусів з автономним ходом на маршрути м. Херсона, доцільно виконати закупівлю кількох нових машин і виконати дослідження енергоспоживання та особливостей роботи їх систем, зокрема опалення та кондиціонування. Паралельно перспективним є виконання ремонту та модернізації тролейбусів, що були в рооті, з оснащенням їх системою автономного ходу, що можна виконувати на базі тролейбусного депо із залученням студентів навчальних закладів Херсона, вирішуючи питання їх практики.

Ключові слова: транспортна система, маршрут, тролейбус з автономним ходом, акумулятор, Херсон.

V. O. PROTSENKO

Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Transport Systems and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-3468-4952

PROSPECTS FOR IMPROVING PASSENGER COMMUNICATION IN THE CITY OF KHERSON BY USING AUTONOMOUS TROLLEYBUSES

The article deals with an analysis of the quality indicators of passenger transport in the city of Kherson. It is shown that the main volume of transportation is carried out by small and medium-class buses, trolleybus transportation accounts for only a quarter of the total volume. It is noted that the presence of a significant number of common sections in the route network of passenger transport in the city of Kherson has led to unfair competition on routes, which, in particular, has become the cause of the decline of trolleybus transportation. It is shown that using the existing trolleybus network it is possible to improve the quality of passenger service by improving existing and creating new routes through the use of autonomous trolleybuses. The work contains proposals for improving existing routes, as well as schemes for 13 new city routes for autonomous trolleybuses that connect the main districts of the city of Kherson with each other, with major health care and educational institutions. For the developed schemes, the lengths of movement under the contact network and autonomous movement were determined, which made it possible to perform technical and economic calculations. Calculations of the required capacity of traction batteries were made, which should be taken into account when planning investments and energy consumption.

It is shown that at the first stage of implementation autonomous trolleybuses on the routes of the city of Kherson, it is advisable to purchase several new vehicles and conduct a study of energy consumption and the features of their systems, in particular heating and air conditioning. In parallel, it is promising to carry out repairs and modernization of trolleybuses with equipping them with an autonomous movement system, which can be carried out on the basis of a trolleybus depot with the involvement of students from educational institutions of Kherson.

Key words: transport system, route, autonomous trolleybus, battery, Kherson.

Постановка проблеми

Місто Херсон після відновлення сполучення між берегами Дніпра має стати логістичним хабом, центром розміщення та підготовки персоналу для ліквідації наслідків війни, відновлення інфраструктури та господарства лівобережжя. Ці обставини змушують задуматись про способи відновлення та забезпечення відповідності загалом застарілої та нераціональної системи пасажирського сполучення Херсона та області сучасним викликам разом із підвищенням якості перевезення пасажирів. Цим питанням присвячена деяка кількість робіт, де, однак, не міститься конкретних рішень, що становить проблему і стало мотивом для виконання даної роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Актуальність широкого застосування для пасажирських перевезень у м. Херсоні електротранспорту, підвищенню їх якості з точки зору зменшення навантаження на екосистему міста, зручності використання пасажирями, в тому числі особливих категорій, охарактеризована в багатьох роботах [1, 2]. Величина експлуатаційних витрат та екологічний вплив засобів транспорту є одними з ключових показників якості перевезень і формування тарифу, а відтак ці чинники впливають на вибір пасажирями того чи іншого способу пересування [3, 4].

2023 року прийнято Закон України «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрозарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів» [5], згідно з яким передбачається у містах із населенням понад 250 тис. осіб з 2030 року заборонити закупку автобусів з ДВЗ і до 2033 року довести загальну кількість електробусів на маршрутах понад 50 %, а до 2036 року – до 100 %.

В той же час, за даними відкритих джерел [6, 7], основний обсяг пасажирських перевезень в м. Херсоні в основному виконується автобусами малого та середнього класу, а на тролейбусні перевезення на передвоєнний час припадало лише близько 20...25 % пасажиробігу.

Розрахунок основних показників якості перевезення пасажирів для маршрутної мережі Херсона згідно [8, 9] дав можливість встановити, що величина маршрутного коефіцієнту $K_m = \sum L_m / L_{мер} = 4,68$ ($\sum L_m$ – сумарна довжина маршрутів у місті, $L_{мер}$ – довжина маршрутної мережі (використано дані к.т.н., доцента П. В. Луб'яного)), демонструє, що більшість маршрутів міського транспорту мають багато сумісних ділянок. Наявність таких ділянок свідчить про те, що маршрути різних видів транспорту прокладені тими самими вулицями, що призвело до виникнення такого негативного явища як недобросовісна конкуренція на маршрутах, значної кількості аварійних ситуацій, що загалом ускладнило роботу тролейбусів. Все це призвело до занепаду тролейбусних перевезень.

Щільність маршрутної мережі для м. Херсона дорівнює $\delta = L_{мер} / F_m = 2,33$ км/км² (F_m – площа забудованої частини міста), що демонструє резерв для підвищення (максимальне нормальне значення до 4,5 км/км²). Цього можна досягнути за рахунок виведення маршрутів, які обслуговуються автобусами та маршрутними таксі, за межі магістральних вулиць центра міста, де прокладено тролейбусну мережу, та за рахунок цього інтенсифікації тролейбусних перевезень.

Транспортна рухливість населення у м. Херсоні є достатньо низькою $V_{нас} = Q_{річ} / N_{меш} = 133$ поїздки/рік ($Q_{річ}$ – річний обсяг перевезень, $N_{меш}$ – чисельність населення міста), що пояснюється тенденціями до старіння населення міста через відсутність великих стабільно працюючих підприємств, низьким рівнем розвитку доступного і зручного електротранспорту.

Середня відстань поїздки пасажирів становить $L_{ср} = P_{заг} / Q_{річ} = 10,6$ км ($P_{заг}$ – загальний пасажирообіг), що є показником вище середнього (5...7 км) та опосередковано підтверджує високу концентрацію маршрутів центральними магістральними вулицями міста, що потребує виконання пасажирями пересадок під час однієї поїздки.

Тролейбусна мережа м. Херсона, що розбудовувалась з 1960 року, найбільшого розквіту зазнала в середині 1980-х років, коли налічувалось 15 маршрутів (рис. 1, табл. 1), з яких на лютий 2022 року працювало 7 (рис. 2, табл. 2), які фактично залишились у спадок від СРСР, пов'язуючи житлові масиви із тогочасними крупними підприємствами, не відповідаючи напрямкам найбільших пасажиропотоків у ХХІ столітті. Однак, існуюча мережа може дати можливість відновити непрацюючі маршрути чи створювати нові згідно вимог поточного моменту.

Херсон залізничними та автомобільними магістралями з точки зору пасажирського сполучення можна умовно поділити на 7 характерних районів (рис. 2), які відрізняються забудовою, розміщенням центрів тяжіння пасажирів та ін.

В тролейбусному сполученні цих районів наявні наступні основні проблеми:

- із залізничним вокзалом пряме тролейбусне сполучення має тільки центр міста та район «ХБК»;
- район «Острів» не пов'язаний з іншими районами тролейбусними маршрутами (крім «ХБК» та «Житлоселище»);
- відсутнє тролейбусне сполучення між густонаселеними районами «Шуменський» та «Таврійський»;
- тролейбусне сполучення районів «Таврійський» та «ХБК» проходить через усе місто, що робить тролейбус непривабливим засобом для пасажирів, яким треба швидко потрапити з одного із цих районів в інший;
- відсутній електрорух важливими магістральними вулицями (через відсутність контактної мережі) – Грушевського, Івана Богуна, Українською, Університетською, Театральною, просп. Національної гвардії України та ін., що суттєво перевантажує рух ними автобусами малої місткості, призводить до виникнення ДТП;

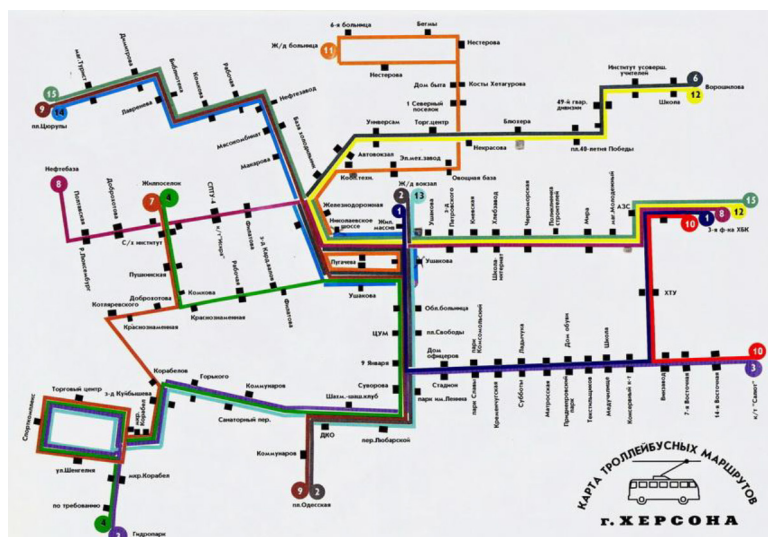


Рис. 1. Схема тролейбусних маршрутів м. Херсона (на 1996 рік) [10]

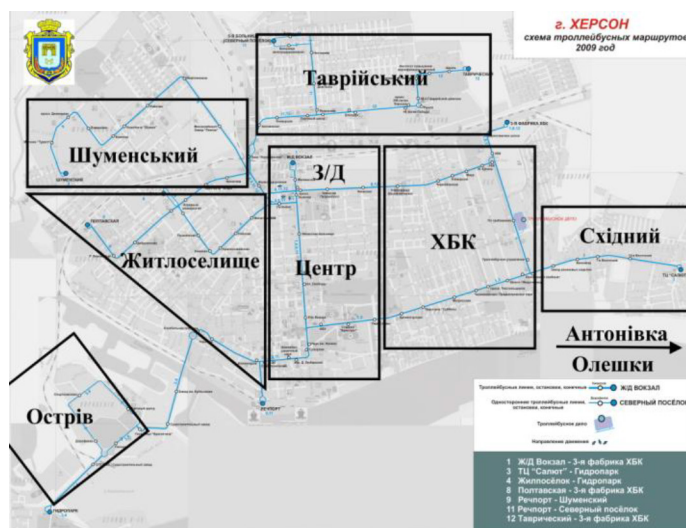


Рис. 2. Схема тролейбусних маршрутів м. Херсона (на 2009-лютий 2022 року) [11]
та основних районів, які ними сполучені

- маршрути тролейбусів та автобусів прокладені тими самими вулицями, що призвело до виникнення такого негативного явища як недобросовісна конкуренція через дублювання маршрутів (табл. 2) та виникнення значної кількості аварійних ситуацій;
- не забезпечено сполучення всіх районів з провідними закладами освіти та установами охорони здоров'я;
- відсутнє тролейбусне сполучення з містом-сателітом Херсона Олешками, райцентром Білозерка, селищами Зеленівка, Інженерне і т.ін.

Серед основних проблем забезпечення рухомим складом слід відзначити наступні:

- основний обсяг перевезень у межах міста та приміських районів забезпечується автобусами з ДВЗ середньої місткості типу Богдан/Еталон, мікроавтобусами типу Газель;
- рухомого складу електротранспорту недостатньо (за останні 40 років кількість тролейбусів зменшилася втричі);
- парк тролейбусів застарілий, переважають високопідлогові машини (ЮМЗ, Шкода, ЗиУ).

Формулювання мети дослідження

Наведені проблеми потребують вирішення питання комплексної модернізації транспортної системи міста Херсона з урахуванням нових вимог, з поступовою відмовою від автобусних і перехід до електробусних пасажирських перевезень, як того вимагає закон [5]. Цього можна комплексно досягти, спираючись на потенціал існуючої тролейбусної інфраструктури, зокрема застосуванням тролейбусів з автономним ходом (АХ). Метою роботи є розроблення на рівні схем маршрутів для тролейбусів з АХ, впровадження яких дозволить підвищити якість

Таблиця 1

Параметри тролейбусних маршрутів м. Херсона (на 1996 рік)

№ м-ту	Кінцеві	Довжина маршруту, км	Тривалість рейсу, хв	Експлуатаційна швидкість, км/год	Примітка
1	ТРЦ «Фабрика» – з/д вокзал	18,6	71	15,72	
2	Пл. Одеська – з/д вокзал	8,5	38	13,42	Не працює
3	Гідропарк – пл. Чорновола	28,9	97	17,88	
4	Гідропарк – вул. Комкова	23,8	87	16,41	
5	Пл. Одеська – пл. Чорновола	18,0	62	17,42	Не працює
6	Вул. Покришева – Миколаївське шосе	13,1	50	15,72	Не працює
7	Гідропарк – вул. Комкова	12,4	53	14,04	Не працює
8	ТРЦ «Фабрика» – вул. Полтавська	19,0	68	16,76	
9	Пл. Білозерська – пл. Одеська	19,3	76	15,24	
10	ТРЦ «Фабрика» – пл. Чорновола	9,3	40	13,95	Не працює
11	вул. Гринько – пл. Одеська	18,1	79	13,79	
12	ТРЦ «Фабрика» – вул. Покришева	22,5	80	16,88	
13	Вул. Дорофєєва – з/д вокзал	17,4	65	16,06	Не працює
14	Пл. Білозерська – Миколаївське шосе	14,2	49	17,39	Не працює
15	Пл. Білозерська – ТРЦ «Фабрика» (ч/з вул. І. Кулика)	21,0	80	15,75	Не працює

Таблиця 2

Параметри мережі діючих (на січень 2022 року) тролейбусних маршрутів м. Херсона та їх характеристики

№ м-ту	Кінцеві	Коеф. змінності, K_i	Коеф. непрямої лінійності, k_i	Ступінь дублювання ρ_{ij} (вибірково)
1	ТРЦ «Фабрика» – з/д вокзал	1,75	2,91	A30 – 48 % A38, 5 – 29 % A35 – 29 % A8 – 24 %
3	Гідропарк – пл. Чорновола	2,73	1,44	A8, 35 – 56 % A30 – 43 % A5, 17, 38 – 18 %
4	Гідропарк – вул. Комкова	2,25	3,40	A8, 35 – 77 % A34 – 39 %
8	ТРЦ «Фабрика» – вул. Полтавська	1,79	1,40	A17 – 60 % A8, 14 – 40 %
9	Пл. Білозерська – пл. Одеська	1,82	2,35	A5 – 71 % A17 – 67 % A8, 35 – 30 %
11	вул. Гринько – пл. Одеська	1,71	1,46	A8, 35 – 47 % A38 – 53 % A14 – 32 %
12	ТРЦ «Фабрика» – вул. Покришева	2,12	9,38	A14 – 100 % A8, 17 – 33 %
	Середнє значення	2,06	3,19	–

обслуговування пасажирів та виконати вимоги згаданого закону, а також попереднє обґрунтування застосування рухомого складу на цих маршрутах з розробленням основних рекомендацій щодо їх впровадження.

Тому основні задачі даної роботи є такими:

- запропонувати схеми маршрутів для тролейбусів з автономним ходом, впровадження яких дозволило би зменшити вказані проблеми в пасажирському сполученні в м. Херсоні;
- визначити параметри тягових акумуляторних батарей (ТАБ) для тролейбусів з АХ, що працюватимуть на запропонованих маршрутах;
- розглянути варіанти комплектування транспортними засобами розроблених маршрутів та визначити собівартість перевезення пасажирів;
- показати та оцінити резерви зниження собівартості перевезення пасажирів і запропонувати заходи, що дали би змогу цього досягти;
- запропонувати основні заходи що допомогли б реалізувати наведені технічні рішення на практиці.

Викладення основного матеріалу дослідження

Процес розробки раціональної мережі тролейбусних маршрутів (в т.ч. з АХ) повинен переслідувати наступні реально досяжні цілі:

- покращення якості обслуговування населення маршрутами міських тролейбусів;
- усунення необґрунтованого дублювання маршрутів руху міських тролейбусів автобусами;
- зменшення завантаження магістральних вулиць центра міста потоками автобусів на користь тролейбусів;
- забезпечення сполучення мікрорайонів тролейбусами між собою за рахунок використання існуючої тролейбусної мережі та прокладання тролейбусних маршрутів неелектрифікованими магістральними вулицями (напр. вул. Грушевського, Івана Богуна, Українською, Університетською, Театральною, вул., просп. Національної гвардії України та ін.) за рахунок застосування тролейбусів з АХ;
- забезпечення тролейбусного сполучення з населеними пунктами-сателітами м. Херсона, зокрема м. Олешки та с.м.т. Білозерка, Антонівка, Зеленівка, с. Інженерне, Кіндійкою та ін., що дасть можливість інтенсифікувати рух продуктивних сил, та сприятиме розвитку Херсонської міської громади.

Загальна схема існуючих та пропонованих маршрутів показана на рис. 3, а основні параметри нових маршрутів зведені в табл. 3.

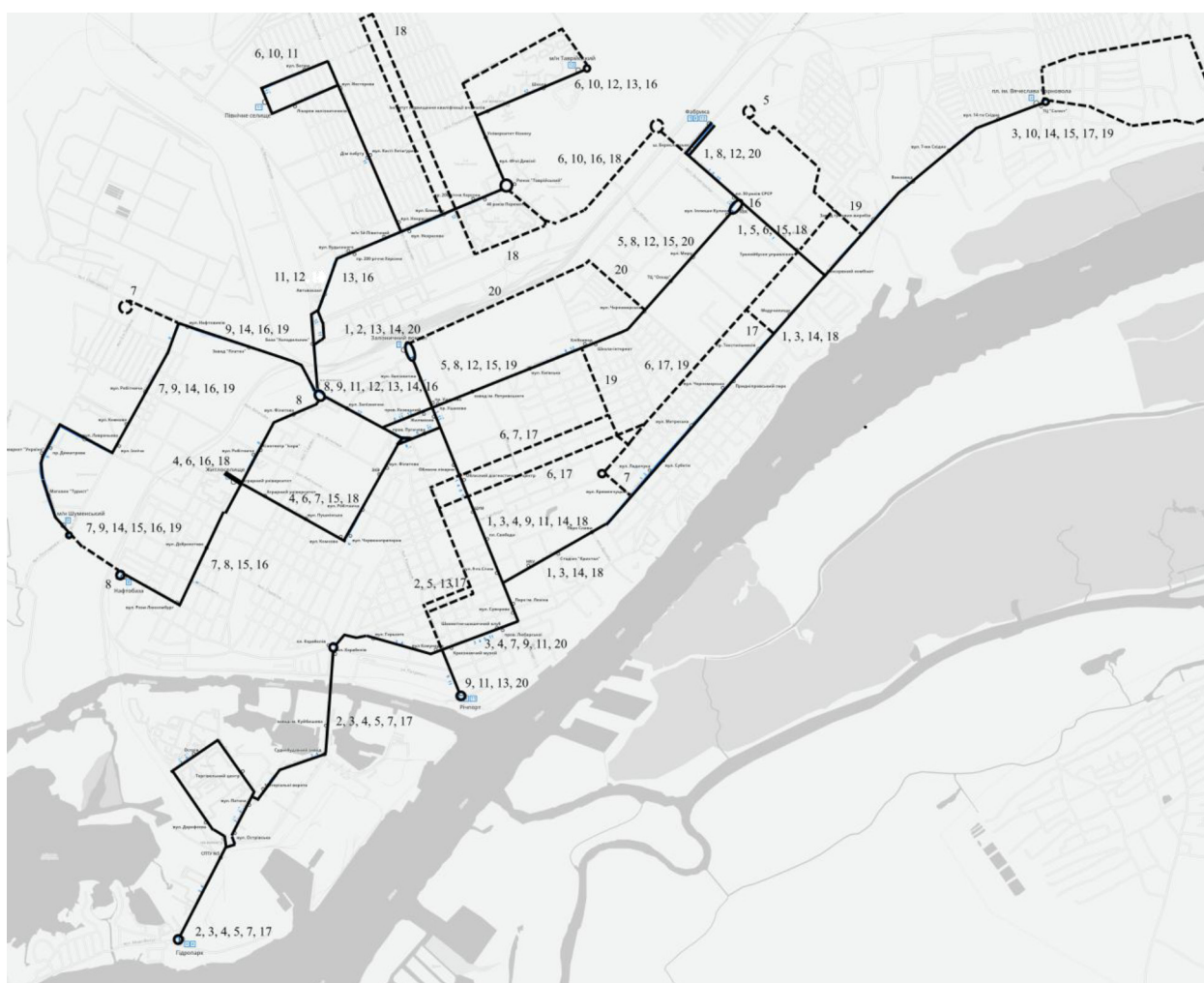


Рис. 3. Схема пропонованих та існуючих тролейбусних маршрутів

Потрібну ємність ТАБ для тролейбусів з АХ на запропонованих маршрутах виконували, використовуючи модель проф. С. І. Андрусенка [12]. У розрахунках брали витрату електроенергії $H_0 = 2,3 \text{ кВт} \cdot \text{год/км.}$, питому ємність ТАБ $C_0 = 3,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/км.}$ (обчислено за даними випробувань у м. Харкові, де клімат холодніший), потужність зарядки ТАБ при русі під контактною мережею $P_{\text{ЗКМ}} = 30 \text{ кВт}$ [13], результати зведено в табл. 4.

Далі виконували розрахунок вартості експлуатації транспортного засобу (грн./км) згідно методики [14] для автобуса (1) та тролейбуса (2).

$$S_{\text{еАВТ}} = P_{\text{АВТнап}} + AM_{\text{АВТ}} + P_{\text{ТО}} + P_{\text{АВТмем}} + P_{\text{ш}} + P_{\text{ОПек}} + \text{€СВ}_{\text{РОП}} + \text{ПКР}_{\text{АВТ}}, \quad (1)$$

Таблиця 3

Основні параметри розроблених міських тролейбусних маршрутів з АХ

№ маршруту	Кінцеві зупинки	Довжина маршруту $L_{\text{м}}$, км	Відстань ходу під контактною мережею $L_{\text{км}}$, км	Відстань автономного ходу $L_{\text{ав}}$, км	Ємність ТАБ $C_{\text{ТАБ}}$, кВт · год
2	З/д вокзал – Гідропарк	19,1	13,5	5,6	22
5	ТЕЦ – Гідропарк	27,5	20,5	7,0	44
6	Вул. Гринька – вул. Полтавська	42,0	24,0	18,0	67
7	Вул. Нафтовиків (г/м «Нова лінія») – Гідропарк	40,2	32,2	8,0	44
10	Вул. Гринька – вул. Комсомольська (Кіндійка)	34,0	20,1	13,9	67
13	Вул. 49 Гв. Дивізії – пл. Одеська	26,0	17,5	8,5	44
14	Пл. Білозерська – з/д вокзал – м. Олешки	52,8	32,8	20,0	67
15	Пл. Чорновола – пл. Дубинди – с.м.т. Білозерка	45,3	24,6	20,7	67
16	Вул. Комкова – пл. Дубинди	36,8	26,0	10,8	44
17	Пл. Чорновола – Гідропарк	30,0	16,5	13,5	67
18	Вул. Комкова – вул. Космічна	34,0	22,0	12,0	44
19	Пл. Білозерська – вул. Комсомольська (Кіндійка)	37,8	23,2	12,6	67
20	ТРЦ «Фабрика» – пл. Одеська	18,4	13,0	5,4	22

де $P_{\text{АВТпал}}$ – питомі витрати на паливо для автобуса, грн./км; $AM_{\text{АВТ}}$ – питомі витрати на амортизацію автобуса, грн./км; $P_{\text{ТО}}$ – питомі витрати на ТО та ПР автобуса (сюди входить заробітна плата ремонтних робітників з єдиним соціальним внеском (ЄСВ), грн./км; $P_{\text{АВТмем}}$ – питомі витрати на мастило та інші експлуатаційні матеріали, грн./км; $P_{\text{ш}}$ – витрати на зношування та ремонт шин, грн./км; $P_{\text{ОПвк}}$ – питомі витрати на оплату праці водіїв та кондукторів, грн./км; $ЄСВ_{\text{РОП}}$ – єдиний соціальний внесок (22 % від фонду оплати праці), грн./км; $ПКР_{\text{АВТ}}$ – інші прямі витрати, грн./км.

$$S_{\text{еТРОЛ}} = P_{\text{ТРОЛен}} + AM_{\text{ТРОЛ}} + P_{\text{ТО}} + P_{\text{ш}} + P_{\text{ТРОЛкмт}} + P_{\text{ОПвк}} + ЄСВ_{\text{РОП}} + ПКР_{\text{ТРОЛ}}, \quad (2)$$

де $P_{\text{ТРОЛен}}$ – питомі витрати на електроенергію, грн./км; $AM_{\text{ТРОЛ}}$ – питомі витрати на амортизацію тролейбуса, грн./км; $P_{\text{ТРОЛкмт}}$ – питомі витрати утримання контактної-кабельної мережі та тягових підстанцій, грн./км.; $ПКР_{\text{ТРОЛ}}$ – інші прямі витрати, грн./км.

Постійні величини складових експлуатаційних витрат та норм приймали наступними: норма експлуатаційного пробігу шини $H_{\text{ш}} = 70$ тис. км.; величина середньомісячної оплати праці ремонтного робітника $3П_{\text{р}} = 18\,750$ грн.; величини середньомісячної оплати праці водія та кондуктора, відповідно $3П_{\text{в}} = 25\,000$ грн., $3П_{\text{к}} = 12\,500$ грн.; ціна дизельного палива $Ц_{\text{пал}} = 53$ грн./л; ціна електроенергії $Ц_{\text{ен}} = 4,32$ грн./(кВт·год); ціна утримання контактної-кабельної мережі та тягових підстанцій $Ц_{\text{кмтп}} = 6$ грн./км., пасажиропотік 4000 пас./добу. Комплектування маршрутів транспортними засобами розглядали згідно наступних варіантів.

Варіант 1. Автобус ЕТАЛОН А08128 (новий): вартість $B_{\text{ТЗ}} = 4,0$ млн. грн.; термін використання транспортного засобу $T_{\text{вик}} = 7$ років; пасажиромісткість $ПМ_{\text{ТЗ}} = 68$ пасажирів; витрата палива $B_{\text{пал}} = 25$ л/100 км; величина нормативу трудомісткості ТО $T_{\text{ТО}} = 15$ год/1000 км. пробігу; величина нормативу трудомісткості ПР $T_{\text{ПР}} = 10$ год/1000 км. пробігу; кількість шин, встановлених на один ТЗ $n_{\text{ш}} = 6$ шт.; вартість однієї шини $B_{\text{ш}} = 10\,000$ грн.; середня експлуатаційна швидкість $V_{\text{е}} = 19$ км/год.

Варіант 2. Тролейбус з АХ PTS-12309 (новий): вартість $B_{\text{ТЗ}} = 16,0$ млн. грн.; пасажиромісткість $ПМ_{\text{ТЗ}} = 77$ пасажирів; термін використання транспортного засобу $T_{\text{вик}} = 10$ років; величина нормативу трудомісткості ТО $T_{\text{ТО}} = 25$ год/1000 км. пробігу; величина нормативу трудомісткості ПР $T_{\text{ПР}} = 8$ год/1000 км. пробігу; кількість шин, встановлених на один ТЗ $n_{\text{ш}} = 6$ шт.; вартість однієї шини $B_{\text{ш}} = 12\,000$ грн.; середня експлуатаційна швидкість $V_{\text{е}} = 15$ км/год.

Варіант 3. Тролейбус ЛАЗ Е183D1, що був у вжитку (вартість $B_{\text{ТЗ}} = 1,0$ млн. грн.) та виконання його капітального ремонту з оснащенням системою АХ (вартість робіт $B_{\text{КРМ}} = 3,2$ млн. грн.). Вважаємо при цьому, що пасажиромісткість зменшиться до $ПМ_{\text{ТЗ}} = 77$ пасажирів за рахунок маси ТАБ та системи управління тягою. З огляду на викладене, всі складові собівартості, крім амортизації, залишаться без змін, тому обчислюємо лише її і перераховуємо собівартість за даними попереднього прикладу.

Варіант 4. Прокладання контактної-кабельної мережі ціною $Ц_{\text{км}} = 40$ млн. грн./км. на відстань $0,5L_{\text{ав}} = 6,75$ км (вул. Університетська) для кількох маршрутів – № 6, 7, 17, 19 терміном використання $T_{\text{вик}} = 30$ років та експлуатація на них тролейбусів типу Богдан Т70117 (пасажиромісткістю $ПМ_{\text{ТЗ}} = 105$ пасажирів), що вже проамортизовані.

Діаграми розподілу складових питомих витрат на 1 км пробігу для розробленого маршруту № 17 у випадку закупки нових тролейбусів з АХ PTS-12309 показана на рис. 4, а. Основні витрати припадають на амортизацію ТЗ, оплату праці водія та кондуктора, та витрати на електроенергію. Розрахунок показує, що собівартість перевезення пасажирів при відмові від роботи кондукторів зменшиться на 13 % – до 22,90 грн. Аналогічна картина має місце для випадку закупки б/в тролейбусів ЛАЗ Е183Д1 з їх капітальним ремонтом та встановленням системи АХ (рис. 4, б). Тут собівартість перевезення пасажирів при відмові від роботи кондукторів зменшиться на 17 % – до 17,24 грн.

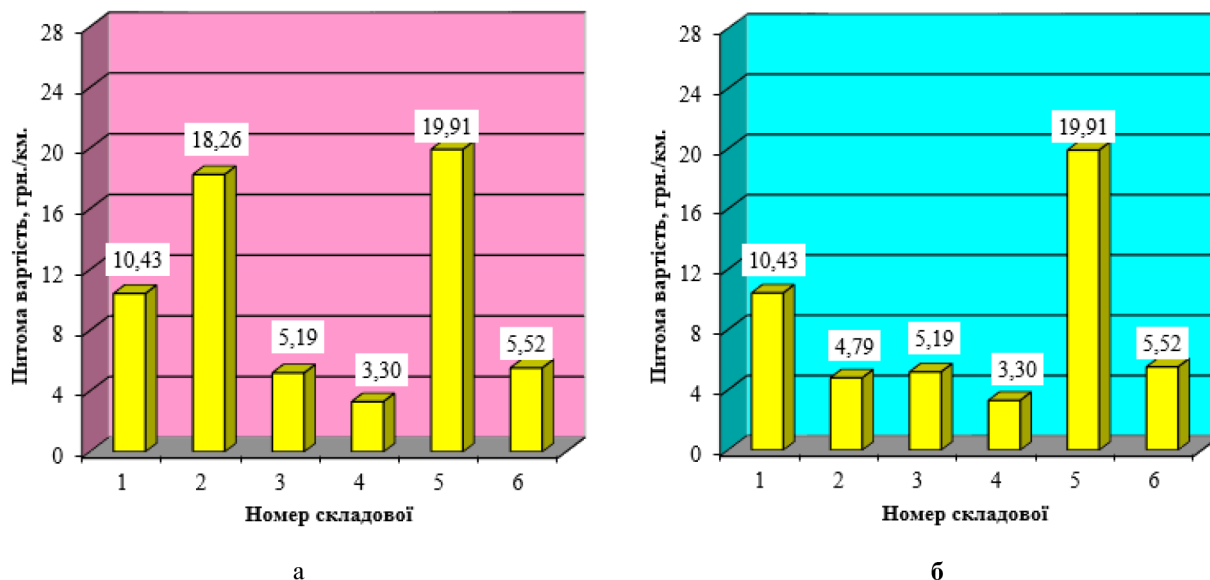


Рис. 4. Діаграма складових питомих витрат на перевезення для тролейбуса з АХ PTS-12309 (а) та ЛАЗ Е183Д1 (б): 1 – витрати на електроенергію; 2 – витрати на амортизацію; 3 – витрати на ТО і ПР; 4 – витрати на утримання контактної мережі; 5 – витрати на оплату праці водія та кондуктора; 6 – ЄСВ

Результати розрахунків собівартості перевезення пасажирів для всіх маршрутів представлено на рис. 5–7. На прикладі маршруту № 17 можемо показати, що зрівнятися за собівартістю перевезення пасажирів з дизельним автобусом (варіант 1, $S_{енас} = 19,55$ грн.) може капітально відремонтований на базі депо тролейбус (варіант 3, $S_{енас} = 20,64$ грн.) чи прокладання контактної мережі (варіант 4, $S_{енас} = 19,02$ грн.) за умови прокладання нею кількох маршрутів і амортизації протягом 30 років.

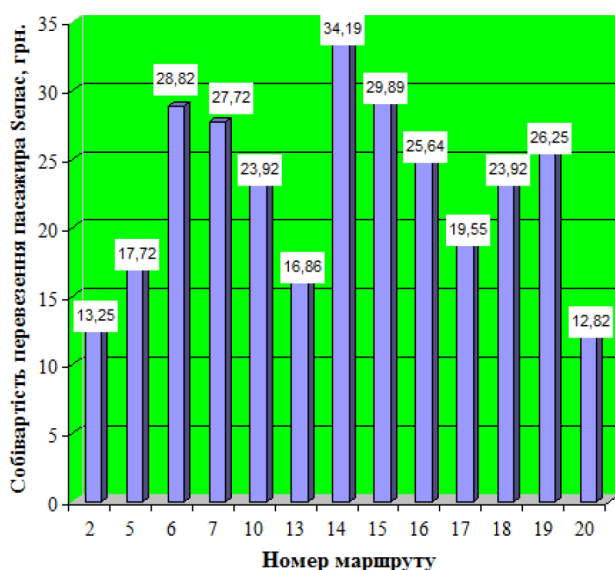


Рис. 5. Діаграма собівартостей перевезення одного пасажирів на розроблених маршрутах із застосуванням нових автобусів ЕТАЛОН А08128

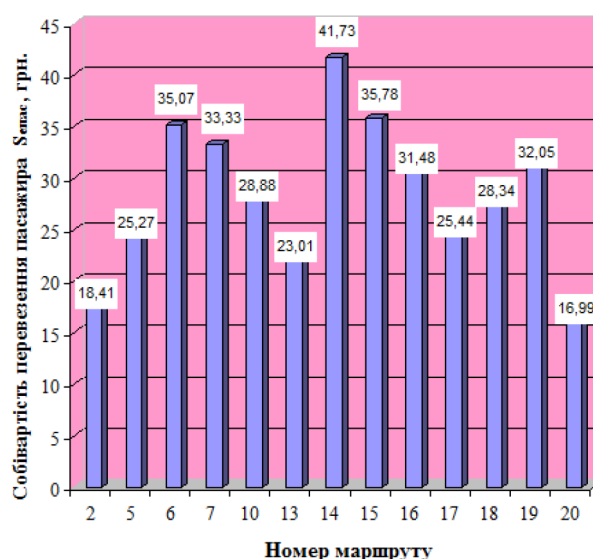


Рис. 6. Діаграма собівартостей перевезення одного пасажирів на розроблених маршрутах із застосуванням нових тролейбусів PTS-12309

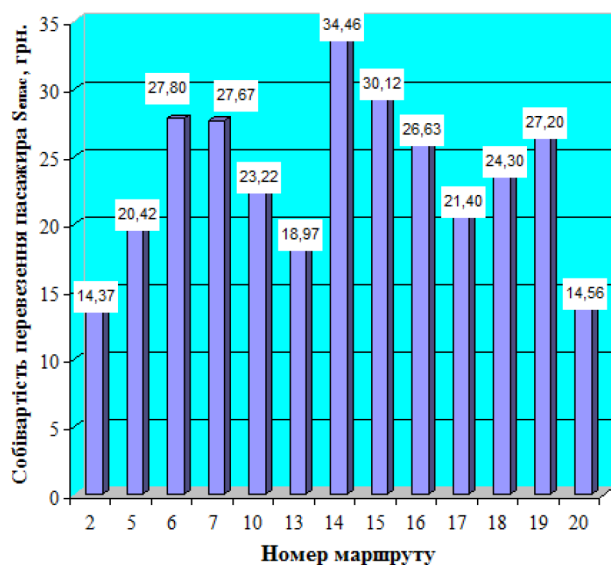


Рис. 7. Діаграма собівартостей перевезення одного пасажирів на розроблених маршрутах із застосуванням ЛАЗ E183D1 після КР та встановлення системи АХ

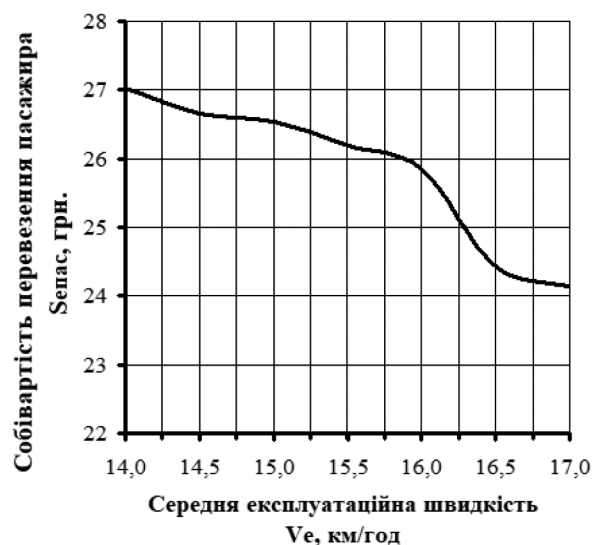


Рис. 8. Графік впливу середньої експлуатаційної швидкості на собівартість перевезення пасажирів тролейбусом PTS-12309 на пропонуваному маршруті 17

Варіант із закупівлею нових тролейбусів PTS-12309 ($S_{енас} = 26,30$ грн.) є найдорожчим, проте цілком реальним за умов кредитування чи участі в грантових програмах. Співставляючи потрібну кількість тролейбусів (≈ 80 машин), яка потрібна для забезпечення роботи на всіх маршрутах з кількістю списаних машин (в Києві понад 35 тільки машин ЛАЗ E183D1), можна передбачати закупівлю тролейбусів, що були в експлуатації, в тому числі за кордоном, а також замовлення нових машин типу PTS-12309.

За рахунок аналізу тролейбусних маршрутів м. Херсона (табл. 1) за стандартом [15] встановлено [16], що середнє значення експлуатаційної швидкості $V_{ср}$ тролейбусів по м. Херсону з імовірністю 95 % коливається в межах від 14,97 км/год до 16,55 км/год що демонструє можливість її підвищення на практиці. Розрахунками встановлено (рис. 8), що при збільшенні середньої експлуатаційної швидкості на модельному маршруті № 17 на 13 % з (15 км/год до 17 км/год) дає можливість знизити собівартість перевезення пасажирів тролейбусом з АХ (варіант 2) на 9 % (з 26,54 грн. до 24,14 грн.) за рахунок зменшення кількості машин на маршруті, що при обсягу перевезень $KП_{доб} = 4000$ пасажирів дає добову економію близько 10 тис. грн. і формує умови для розроблення організаційних заходів забезпечення перевезень та управління рухом тролейбусів на маршрутах, зокрема інтелектуального управління світлофорною сигналізацією [17].

Висновки

У статті запропоновано заходи для удосконалення пасажирського сполучення у м. Херсоні за рахунок застосування тролейбусів з автономним ходом. При цьому можна зробити наступні висновки.

1. За рахунок аналізу основних параметрів маршрутної системи м. Херсона, зокрема довжини маршрутної мережі, пасажирообігу, річного обсягу перевезень, показано, що основний обсяг перевезень виконується автобусами малого та середнього класу, на тролейбусні перевезення випадає лише 20...25 % обсягу. Наявність значної кількості сумісних ділянок в маршрутній мережі пасажирського транспорту м. Херсон призвело до виникнення такого негативного явища як недобросовісна конкуренція на маршрутах, що, зокрема, призвело до занепаду тролейбусних перевезень (за 30 років тролейбусний парк скоротився більше ніж втричі).

2. Херсонська агломерація включає в себе населені пункти-супутники загальною чисельністю населення понад 60 тис. осіб. Сполучення деяких із цих населених пунктів може бути організовано тролейбусами з АХ із забезпеченням їх руху по міських маршрутах.

3. Парк тролейбусів м. Херсона застарілий, переважають високопідлогові машини (75 %), те саме стосується автобусів. Існуючі сім маршрутів тролейбуса (на 2022 рік) в м. Херсоні мають високий ступінь дублювання автобусними (автобусні маршрути № 8 та № 35 на 30...50 % дублюють більшість тролейбусних), є також автобусні маршрути, що дублюють тролейбусні на 100 %. Загалом, тролейбусна система міста застаріла, оскільки існуючі маршрути не відповідають напрямкам найбільших пасажиропотоків – відсутнє пряме сполучення більшості районів із залізничним вокзалом, найбільшими лікарнями та університетами, а також густонаселених районів між собою, відсутній електрорух поряд магістральних вулиць.

4. Транспортна система м. Херсона потребує удосконалення з урахуванням вимог законодавства щодо забезпечення екологічності, що можна реалізувати зокрема застосуванням тролейбусів з АХ і ширшим використанням наявної тролейбусної мережі за рахунок створення нових маршрутів та розширення існуючих. Це потребуватиме виконання нового обстеження транспортних потоків та уточнених розрахунків.

5. Заходи щодо удосконалення існуючих тролейбусних маршрутів застосуванням тролейбусів з автономним ходом можуть бути наступними: маршрути № 1, 8, 12 можуть бути продовжені до селищ Зеленівка, Молодіжне, Інженерне. Маршрут № 3 – до с. Антонівка. Маршрут № 11 – до с. Степанівка та Чорнобаївка.

6. Розроблено схеми 13 нових маршрутів для тролейбусів з автономним ходом, що сполучають основні райони м. Херсона між собою, з основними установами охорони здоров'я, навчальними закладами. Для розроблених схем визначено довжини руху під контактною мережею та автономним ходом. Виконані розрахунки потрібної ємності ТАБ дали можливість встановити, що для комплектації тролейбусів, що працюватимуть на розроблених маршрутах потрібна закупівля трьох типорозмірів ТАБ: на 22, 44 та 67 кВт · год, що треба враховувати при плануванні інвестицій та енергоспоживання.

7. Виконано розрахунок собівартості перевезення пасажирів на всіх маршрутах для трьох варіантів комплектування транспортними засобами – новими автобусами ЕТАЛОН А08128, новими тролейбусами PTS-12309 та капітально відремонтованими силами тролейбусного депо тролейбусами ЛАЗ Е183D1 зі встановленням системи АХ та прокладання контактної мережі. На прикладі одного з маршрутів показано, що зрівнятися за собівартістю перевезення пасажирів з дизельним автобусом (варіант 1, $S_{енас} = 19,55$ грн.) може капітально відремонтований на базі депо тролейбус (варіант 3, $S_{енас} = 20,64$ грн.) чи прокладання контактної мережі (варіант 4, $S_{енас} = 19,02$ грн.). Варіант із закупівлею нових тролейбусів PTS-12309 забезпечує найвищу собівартість перевезення пасажирів ($S_{енас} = 26,30$ грн.). Оновлення тролейбусного парку потребуватиме кредитування чи участі в грантових програмах.

8. На основі виконаних розрахунків запропоновано організаційні та технічні напрямки зниження собівартості перевезення пасажирів: встановлення системи дистанційного контролю та оплати проїзду (резерв зниження собівартості 13...17 %). Показано, що при збільшенні середньої експлуатаційної швидкості на модельному маршруті № 17 на 13 % з (15 км/год до 17 км/год) дає можливість знизити собівартість перевезення пасажирів тролейбусом з АХ на 9 % (з 26,54 грн. до 24,14 грн.), що при обсягу перевезень $KП_{об} = 4000$ пасажирів дає добову економію близько 10 тис. грн. і формує умови для розроблення організаційних заходів забезпечення перевезень та управління рухом тролейбусів на маршрутах. Такі заходи, насамперед повинні стосуватись ремонту дорожнього полотна для забезпечення підвищення швидкості, обмеження паркування на вул. Грушевського, Театральній, Українській, і т.д., запровадження інтелектуального управління світлофорною сигналізацією та ін.

9. На першому етапі впровадження тролейбусів з АХ на маршрути м. Херсона доцільно виконати закупівлю кількох нових машин і виконати дослідження енергоспоживання та особливостей роботи їх систем, зокрема опалення та кондиціонування з метою уточненого нормування витрат електроенергії та розрахунків витрат. Паралельно доцільною є закупівля експлуатованих машин типу ЛАЗ чи Богдан, виконання їх ремонту та модернізації на базі тролейбусного депо з оснащенням системою АХ, до чого доцільно залучати студентів навчальних закладів, організувавши таким чином їх практику та цим досягнувши синергетичного ефекту.

10. Запропоновані в роботі рішення та заходи є лише схемними, але і вони можуть стати основою для більш широкої дискусії та подальших досліджень, не відмінюючи головного – для змін у ширшому запровадженні електротранспорту у пасажирські перевезення м. Херсона з покращенням їх якості потрібна воля і ряд подекуди радикальних та непопулярних рішень місцевої адміністрації, мотивування якої може забезпечити свідомо громадянська спільнота херсонців.

Напрямки подальших досліджень:

- розроблення алгоритму розрахунку раціональних параметрів ТАБ для маршрутів тролейбусів з АХ з урахуванням їх довговічності;
- техніко-економічна оцінка способів забезпечення роботи тролейбусів з АХ, включаючи прокладання контактної мережі та заряджання від генераторів;
- дослідження впливу алгоритмів регулювання дорожнього руху на експлуатаційну швидкість тролейбусів на маршрутах м. Херсона.

Список використаної літератури

1. Малеев В. О., Безпальченко В. М. Електротранспорт м. Херсона: екологічність, економічність, ергономічність / *Екологічні науки: науково-практичний журнал*, 2021. № 7(34). С. 61-66. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.есо.7-34.114>
2. Малеев В. О., Безпальченко В. М. Технічні новації та еколого-економічні переваги міського електротранспорту м. Херсона / *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2021, № 1(76). С. 56–65. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.1.7>

3. Войтович О. А., Кузьменко І. О., Луб'яний П.В. Доступність пасажирського транспорту для населення з огляду формування тарифу / *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2023. № 1–2(26–27). С. 107–120. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2023.1-2.26-27.107-118>
4. Войтович О. А., Луб'яний П. В., Моспан В. М., Кузьменко І. О. Модель розрахунку вибору способу пересування за критерієм доступності / *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 2(29). С. 178–186. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.2.29.178-186>
5. Закон України «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрозарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів» № 3220-IX від 30.06.2023.
6. Головне управління статистики у Херсонській області. URL: <https://www.ks.ukrstat.gov.ua/>
7. Херсонська торгово-промислова палата. URL: <https://www.tpp.ks.ua/golovna.html>
8. Луб'яний П. В., Войтович О. А. Організація пасажирських перевезень: навчальний посібник. Херсон : ХНТУ, 2019. 186 с.
9. Босняк М. Г. Пасажирські автомобільні перевезення. К. : Слово, 2009. 272 с.
10. Херсон – Схеми та розклади руху. URL: <https://transphoto.org/photo/272606/>
11. Херсон – Схеми та розклади руху. URL: <https://transphoto.org/photo/193103/>
12. Андрусенко С. І., Будниченко В. Б., Подпіснєв В. С. Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї / *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник*. 2021. № 3(50). С. 3–10. <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010>
13. Будниченко І. В., Харламов С. А. Методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації / *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. № 1(22). С. 97–105. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1350>
14. Андрусенко С. І., Будниченко В. Б., Подпіснєв В. С. Розробка методики визначення експлуатаційних витрат автобусів та тролейбусів з різними видами силових установок / *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт)*. 2022. № 2(270). С. 15–25. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25>
15. Подавання результатів випробування статистичне. Оцінювання середнього значення. Довірчий інтервал (ISO 2602:1980, IDT): ДСТУ ISO 2602:2006. [Чинний від 2007-10-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 7 с. (Національний стандарт України).
16. Будниченко В. Б., Проценко В. О., Бабій М. В. Напрямки підвищення екологічності транспортної системи міста Херсона. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 16–18 квітня 2024 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інші.]. Вінниця: ВНТУ, 2024. С. 69–72.
17. Славич В. П., Савченко М. О. Модель чотирифазної системи управління транспортним потоком / *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2024. № 1(28). С. 196–204. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.196-204>

References

1. Malieiev V. O., Bezpalchenko V. M. (2021) Elektrotransport m. Khersona: ekolohichnist, ekonomichnist, erhonomichnist [Electric transport in Kherson: environmental friendliness, economy, ergonomics]. *Ekolohichni nauky: naukovo-praktychnyi zhurnal*, 7(34), 61–66. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.114>
2. Malieiev V. O., Bezpalchenko V. M. (2021) Tekhnichni novatsii ta ekoloho-ekonomichni perevahy miskoho elektrotransportu m. Khersona [Technical innovations and environmental and economic advantages of urban electric transport in Kherson]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 1(76), 56–65. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.1.7>
3. Voïtovych O. A., Kuzmenko I. O., Lubyaniy P. V. (2023) Dostupnist pasazhyrskoho transportu dlia naselennia z ohliadu formuvannia taryfu [Accessibility of passenger transport for the population in terms of tariff formation]. 1–2(26–27), 107–120. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2023.1-2.26-27.107-118>
4. Voïtovych O. A., Lubyaniy P. V., Mospan V. M., Kuzmenko I. O. (2024) Model rozrakhunku vyboru sposobu peresuvannia za kryteriiem dostupnosti [Model for calculating the choice of transportation mode based on accessibility criteria]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*, 2(29), 178–186. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.2.29.178-186>
5. Zakon Ukrainy «Pro deiaki pytannia vykorystannia transportnykh zasobiv, osnashchenykh elektrychnymy dvyhunamy, ta vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo podolannia palyvnoi zalezhnosti i rozvytku elektrozariadnoi infrastrukтуры ta elektrychnykh transportnykh zasobiv» № 3220-IX vid 30.06.2023. [In Ukrainian].
6. Holovne upravlinnia statystyky u Khersonskii oblasti. <https://www.ks.ukrstat.gov.ua/>

7. Khersonska torhovo-promyslova palata. <https://www.tpp.ks.ua/golovna.html>
8. Lubianyi P. V., Voitovych O. A. (2019) Orhanizatsiia pasazhyrskykh perevezen: navchalnyi posibnyk [Organization of passenger transportation: a training manual]. Kherson, 186 p. [In Ukrainian].
9. Bosniak M. G. (2009) Pasazhyrski avtomobilni perevezennia [Passenger road transportation]. Kyiv, 272 p. [In Ukrainian].
10. Kherson – Skhemy ta rozklady rukhu. <https://transphoto.org/photo/272606/>
11. Kherson – Skhemy ta rozklady rukhu. <https://transphoto.org/photo/193103/>
12. Andrusenko S. I., Budnychenko V. B., Podpisnov V. S. (2021) Matematychna model enerhetychnoi yemnosti tiahovoi akumuliatornoї batarei [Mathematical model of the energy capacity of a traction battery]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriia “Tekhnichni nauky”. Naukovo-tekhnicnyi zbirnyk. № 3(50), 3–10. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010>
13. Budnychenko I. V., Kharlamov S. A. (2024) Metodyka otsinky spozhyvannia enerhii elektrobusom ta parametriv tiahovoi akumuliatornoї batarei v umovakh ekspluatatsii [Methodology for assessing the energy consumption of an electric bus and the parameters of the traction battery in operating conditions]. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. № 1(22), 97–105. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1350>
14. Andrusenko S. I., Budnychenko V. B., Podpisnov V. S. (2022) Rozrobka metodyky vyznachennia ekspluatatsiinykh vytrat avtobusiv ta troleibusiv z riznymi vydamy sylovykh ustanovok [Development of a methodology for determining the operating costs of buses and trolleybuses with different types of power plants]. Naukovo-vyrobnychy zhurnal “Avtoshliakhovyk Ukrainy” (Avtomobilnyi transport). 2(270), 15–25. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25>
15. Podavannia rezultativ vyprovuvannia statystychnykh. Otsiniuvannia serednoho znachennia. Dovirchy interval (ISO 2602:1980, IDT): DSTU ISO 2602:2006. – [Chynnyi vid 2007-10-01]. – Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. – 7 p. – (Natsionalnyi standart Ukrainy). [In Ukrainian].
16. Budnychenko V. B., Protsenko V. O., Babii M. V. (2024) Napriamky pidvyshchennia ekolohichnosti transportnoi systemy mista Khersona [Directions for improving the environmental friendliness of the Kherson city transport system]. Materialy XII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnicnoi internet-konferentsii “Problemy ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu”, 16–18 kvitnia 2024 roku: zbirnyk naukovykh prats [Elektronnyi resurs] / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet [ta insh.], 69–72. [In Ukrainian].
17. Slavych V. P., M., Savchenko M. O. (2024) Model chotyryfaznoi systemy upravlinnia transportnym potokom [Model of a four-phase traffic flow control system]. Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii, 1(28), 196–204. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2024.1.28.196-204>