

УДК 519.8

*Коряшкіна Л.С., Беляєв О.Р.***ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ТА МІСЦЬ РОЗМІЩЕННЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА****Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна**

В роботі розглядається задача оптимального розміщення зарядних станцій для електромобілів у м. Дніпро у припущенні, що такими станціями варто обладнати насамперед існуючі майданчики для паркування автотранспорту. На основі результатів аналізу ринку електромобілів як в цілому по Україні, так і в самому м. Дніпро, числа власників електричних автомобілів, технічних параметрів електромобілів і зарядок, а також параметрів роботи вже функціонуючих на території міста зарядних станцій спочатку вирішується питання про раціональну кількість зарядних станцій, які потрібно розмістити за для задоволення поточного попиту. Далі, з урахуванням транспортної інфраструктури міста, серед функціонуючих автостоянок здійснюється пошук в розрахованій кількості тих, де найбільш раціонально (за територіальним критерієм) встановити зарядні пристрої. Тобто метою оптимізації є мінімізація відстані від найвіддаленішого майданчика для паркування автотранспорту до найближчої зарядної станції. Визначення оптимальної кількості зарядних станцій в місті Дніпро, що забезпечує мінімальні сумарні втрати від простою постів та відмов на обслуговування, здійснено, застосовуючи моделі і методи теорії масового обслуговування. Виконаний аналіз таких параметрів системи масового обслуговування, як потік заявок і можлива продуктивність каналів. Реалізація системи масового обслуговування здійснена мовою програмування C++ за наступних вихідних умов. Розрахунок оптимальної кількості зарядних пістолетів на території міста здійснюється у припущенні, що у вартісному вираженні дохід від експлуатації одного зарядного пістолета і витрати на його утримання при вимушеному простої майже ті самі. А коефіцієнт чистого доходу зарядної станції для електромобілів є пропорційним різниці між середньою кількістю електромобілів, що обслуговуються системою, та числом пістолетів, що вимушено простоюють. Для розв'язання задачі комбінаторної оптимізації використовується наближений алгоритм штучної імунної системи.

Ключові слова: електромобілі, зарядні станції, оптимальне розміщення, комбінаторна оптимізація, імунні системи, геоінформаційні технології.

DOI: 10.32434/2521-6406-2019-5-1-23-29

Постановка проблеми

Формування умов сталого розвитку Дніпропетровського регіону потребує гармонійного поєднання економічної, соціальної та екологічної мети розвитку соціальної інфраструктури, досягнення якої передбачає модернізацію регіональної інфраструктури з урахуванням потреб розвитку людського потенціалу промислового регіону [1]. Перспективними для досягнення сталого розвитку регіону виступають кроки, спрямовані на підсилення конкурентних пере-

ваг розвитку регіональної соціальної інфраструктури, що передбачає узгодження напрямів розвитку малого та середнього бізнесу з пріоритетними напрямами розвитку сфери послуг у регіоні; підвищення ефективності використання науково-освітнього потенціалу регіону у впровадженні інноваційних технологій розвитку соціальної інфраструктури та ін. Одним з пріоритетних напрямів мінімізації ризиків соціально-економічного розвитку, а отже, й просування Дніпропетровського регіону в бік реалізації цілей сталого розвитку Дніпро-2030 в екологічній

© Коряшкіна Л.С., Беляєв О.Р., 2019

підсистемі є зменшення викидів шкідливих речовин у повітря. Серед іншого в [1] запропоновано розвивати якісну, надійну, сталу та доступну інфраструктуру, яка базується на використанні інноваційних технологій, у т.ч. екологічно чистих видів транспорту.

Найбільш перспективними технологіями щодо зниження викидів парникових газів є електромобілі, які включають гібриди зі змінними модулями і автомобілі з акумуляторами. Попит на машини, що мають замість двигуна внутрішнього згоряння акумуляторну батарею, стрімко зростає, оскільки, у порівнянні з автомобілями на органічному паливі, окрім відсутності шкідливих вихлопів, які є одним з головних елементів забруднення навколишнього середовища, електромобілі мають такі переваги: надійність і довговічність двигуна при тривалій експлуатації; високий коефіцієнт корисної дії; можливість зарядки акумуляторів від стандартної електричної мережі. Останній аспект свідчить про те, що електромобіль (ЕМ) дозволяє значно економити на витратах, особливо в нічні часи.

За даними сайту IRS Group лише з січня по квітень 2019 року кількість автомобілів в країні збільшилась на 13,1% і на перше квітня становила 12119 електромобілів. Кількість електромобілів в м. Дніпро також збільшується щомісяця. В межах міста одним із сегментів, в яких вже використовуються електромобілі, є вантажні та персональні перевезення.

З оглядом на те, що акумуляторні батареї забезпечують пробіг електромобілів від 160 до 240 км без підзарядки, їх важко вважати придатними для тривалих поїздок, особливо з урахуванням відсутності станцій підзарядки. Саме нерозвинену інфраструктуру зарядних станцій вважають одним з недоліків ЕМ на даний момент. І це дійсно серйозна проблема в експлуатації, оскільки залишитися стояти на дорозі з акумулятором, що розрядився, – зовсім небажана подія для водія. Зазвичай для повного зарядження електромобіля потрібно близько 8–10 годин. Отже, може знадобитися спеціальна станція для підзарядки, на якій електромобіль зможе перебувати протягом цього часу.

На даний момент в Дніпрі нараховується близько 20 зарядних станцій. Розташовані вони, в основному, поблизу торгових центрів, автосалонів, на деяких заправках і великих автостоянках. Але їх має бути значно більше. З 1 липня 2019 року вступають в дію такі нормативи: мінімум 5% місць на паркових майданчиках міста Дніпра мають бути оснащені станціями для за-

рядки електромобілів. А протягом наступних 11 років планується обладнати такими станціями всі автомайданчики в Україні.

Отже, оскільки масове впровадження ЕМ на даний час утруднене технічними обмеженнями, пов'язаними з дистанцією пересування та тривалим часом зарядки акумулятора, актуальною проблемою є визначення раціонального числа зарядних станцій в межах міста або регіону та їх розміщення.

В даній роботі, по перше, вирішується питання про оптимальну кількість зарядних станцій, які потрібно розмістити у місті Дніпро аби задовольнити поточний попит, використовуючи елементи теорії масового обслуговування. По-друге, ставиться і розв'язується задача оптимального (за територіальним критерієм) розміщення зарядних пристроїв у припущенні, що їх варто розташовувати на майданчиках для паркування транспортних засобів.

Огляд останніх досліджень і публікацій

Питання, пов'язані з оптимальним розміщенням зарядних станцій для електромобілів, протягом останнього десятиліття розглядалися багатьма вченими та практиками як вітчизняними, так і зарубіжними.

Так, цікавою з точки зору прикладних застосувань виявилася робота [2], де поряд з моделлю оптимізації загальних витрат системи електричних таксі розглядається задача оптимізації компонування зарядної інфраструктури з урахуванням попиту на пасажирські перевезення та потреби у зарядженні.

Проблема зарядження електромобілів у Японії розглядається в [3]. Тут автори, концентрують увагу на малому пробігу електромобілів (у середньому 160 км), який не дозволяє здійснювати далекі подорожі без достатньої кількості зарядних станцій, і тому пропонується встановлювати зарядні прилади на місцях зупинки біля доріг, що надасть змогу власникам електромобілів подорожувати Японією вільно, не хвилюючись за заряд свого електротранспорту.

В роботі [4] розглядаються питання, пов'язані з розміщенням зарядних станцій у критичних місцях декількох районів Стамбула. Використовуючи метод аналізу ієрархій, автори оцінюють вагу кожного альтернативного місця розташування з подальшим їх ранжуванням. Надалі, ці ваги використовуються у якості вхідних даних для математичної моделі задачі визначення кількості зарядних станцій, що мають бути встановлені.

У роботі [5] за допомогою статистичних

методів та теорії масового обслуговування розраховуються параметри, які є ключовими при виборі типів зарядних станцій для електромобілів. У статті виконані розрахунки відносно двох різних типів станцій: малої, з можливістю швидкого зарядження, і великої, де час зарядженого одного електромобіля значно більший.

Деякі науковці пропонують розглядати в якості можливих місць для розташування станцій зарядки електромобілів і сервісів з заміни акумуляторних батарей традиційні мережі автозаправних станцій (наприклад, в роботі [6]). Обґрунтовують таке рішення зменшенням вартості та використанням землі на побудову зарядних та акумуляторних станцій.

Незважаючи на численність публікацій, присвячених проблемам оптимального розміщення зарядних станцій та пунктів технічного обслуговування електромобілів, актуальним напрямом наукових досліджень залишається виявлення раціональних місць розташування зарядних станцій для ЕМ в межах одного міста на базі використання сучасних методів оптимізації та інформаційних технологій.

Мета дослідження

Об'єктом дослідження є система масового обслуговування (СМО) власників електромобілів. Предметом дослідження є показники ефективності роботи СМО, а також пошук найкращих місць розташування станцій для зарядження акумуляторів електромобілів. Метою досліджень є зниження витрат на закупівлю і установку зарядних станцій в кількості, достатній для задоволення поточного попиту з оглядом на те, що масове використання електромобілів при здійсненні і вантажних, і персональних перевезень є ключовим стратегічним питанням з точки зору енергетичної безпеки як для України в цілому, так і в межах міста Дніпра.

Постановка задачі

На основі статистичних даних про кількість електромобілів і функціонуючих зарядних станцій в м. Дніпро, оцінити кількість N зарядних станцій, що мають бути розміщені на території міста в найближчий час, достатню для забезпечення потреб у таких станціях за умови якомога менших витрат від простою технологічного обладнання.

У припущенні, що зарядними пристроями мають бути оснащені насамперед майданчики для паркування транспортних засобів (у тому числі і електромобілів), знайти N автостоянок в м. Дніпро для обладнання їх зарядними станціями такі, щоб максимальна відстань від будь-

якої з них до найближчої зарядної станції була мінімальною.

Виклад основного матеріалу

Визначення оптимальної кількості зарядних станцій в місті Дніпро, що забезпечує мінімальні сумарні втрати від простою постів та відмов на обслуговування, здійснено, застосовуючи моделі і методи теорії масового обслуговування. При цьому проведений аналіз таких параметрів СМО, як потік заявок та можлива продуктивність каналів. Введемо наступні позначення: m – інтенсивність обслуговування, яка розраховується як $1/\text{charging_time}$, де charging_time – час обслуговування одного електромобіля (годин); l – інтенсивність потоку машин, яка розраховується за формулою $l/(\text{station_time}/\text{number_cars})$, де station_time – час роботи станції, number_cars – кількість автомобілів, які заряджаються в один день; c – навантаження однієї зарядної станції, яке дорівнює частці l/m . Інші показники ефективності роботи системи масового обслуговування і формули для їх обчислення наведені в табл. 1. Реалізація системи масового обслуговування здійснена мовою програмування C++ за наступних вихідних даних. Згідно з сайтом IRS Group, у місті Дніпро станом на 01.04.2019 нараховується 1256 електромобілів та гібридів. Повний заряд акумулятора можна отримати після чотирьох годин неперервної зарядки. Електрокар потрібно заряджати в середньому кожні три дні.

Таблиця 1

Показники ефективності СМО

Назва показника ефективності СМО	Формула для розрахунку
Граничні ймовірності станів відкритої СМО без черги (формули Ерланга)	$p_0 = \left(\sum_{k=0}^N \frac{\rho^k}{k!} \right)^{-1}$, $p_k = \frac{\rho^k}{k!} p_0$
Ймовірність відмови	$p_{\text{відм}} = \frac{\rho^N}{n!} p_0$
Відносна пропускна спроможність	$Q = 1 - p_{\text{відм}} = 1 - \frac{\rho^N}{n!} p_0$
Абсолютна пропускна спроможність	$A = \lambda q = \lambda \left(1 - \frac{\rho^N}{n!} p_0 \right)$
Середня кількість ЕМ, що заряджаються	$\bar{k} = \sum_{k=0}^N k p_k$
Середня кількість незадіяних зарядних пістолетів	$M = N - \bar{k}$
Коефіцієнт доходу	$W = \bar{k} - M$

Таблиця 2

Показники ефективності роботи СМО

Кількість зарядних пістолетів	Абсолютна пропускна спроможність, ЕМ/год	Відносна пропускна спроможність	Ймовірність відмови	Середня кількість ЕМ, що заряджаються	Середня кількість незадіяних зарядних пістолетів	Дохід, умов грош. один.
1	0,246	0,014	0,985	0,985	0,014	0,971
2	0,492	0,028	0,971	1,971	0,028	1,942
3	0,739	0,042	0,958	2,956	0,044	2,913
...
71	16,048	0,921	0,079	64,193	6,807	57,386
72	16,186	0,929	0,070	64,744	7,255	57,489
73	16,316	0,936	0,063	65,266	7,734	57,531
74	16,439	0,943	0,056	64,756	8,243	57,512
75	16,553	0,950	0,049	66,214	8,785	57,428

Результати розрахунків всіх зазначених показників ефективності роботи системи масового обслуговування при змінній кількості зарядних пістолетів наведені в табл. 2.

Тут передбачається, що у вартісному вираженні дохід від експлуатації одного зарядного пістолета і витрати на його утримання при вимушеному простої майже ті самі, а чистий дохід зарядної станції для ЕМ є пропорційним різниці між відносною пропускною спроможністю, тобто середньою долею ЕМ, що обслуговуються системою, та числом пістолетів, що вимушено простоюють.

Аналіз результатів розрахунків показує, що чим більше зарядних пістолетів, тим більша кількість власників електромобілів може користатись послугами з зарядження авто. Однак, зі значним зростанням кількості пристроїв збільшується кількість таких, які вимушено простоюють, і отже, зростають непродуктивні витрати на їх утримання. Оптимальна кількість зарядних пістолетів для станцій – 73. З такою кількістю зарядних пристроїв 93% власників електромобілів, що потребують зарядки, зможуть отримати відповідну послугу.

Поставлена задача про оптимальне розміщення зарядних станцій для ЕМ на території м. Дніпро є задачею комбінаторної оптимізації (задача про покриття на графі). За невеликої розмірності вона може бути розв'язана повним перебором, в іншому випадку використовують наближені алгоритми – еволюційні, ройові, послідовні алгоритми, інші методи.

Наведемо математичну постановку задачі. Будемо використовувати такі позначення: X – множина всіх автостоянок, кожна з яких надана своїми географічними координатами

$x^m = (x_1^m, x_2^m)$, $m=1, 2, \dots, M$, отже $|X|=M$; $M^*=\{1, 2, \dots, M\}$ – множина індексів елементів з X ; Σ_J^N – множина всіляких комбінацій із M елементів по N елементів, $\sigma_i = \{j_1^i, j_2^i, \dots, j_N^i\}$ – елемент множини Σ_J^N , $|\Sigma_J^N| = C_M^N$; $c(x^m, x^k)$ – відстань між автостоянками x^m, x^k , $m \neq k$, $m, k \in M$.

Потрібно знайти таке $\sigma^* \in \Sigma_J^N$, за якого набуває мінімального значення наступна величина:

$$R(\sigma) = \max_{m \in M^*} \min_{k \in \sigma} c(x^m, x^k).$$

Тобто величина $R(s)$ для кожного фіксованого набору N існуючих майданчиків для паркування автомобілів визначає найбільшу відстань від будь-якої автостоянки до найближчого майданчику із зарядним пристроєм.

Вхідною інформацією для задачі є матриця найближчих відстаней між кожною парою майданчиків, яка побудована за допомогою сервісу Google API. Якщо припустити, що зарядні станції мають три зарядні пістолети, тобто кожен канал СМО має три пости, то, виходячи з попередньо отриманих результатів, в місті Дніпро має бути 24 таких станцій. Оскільки розмірність задачі за таких даних велика, розв'язок задачі отриманий за допомогою наближеного алгоритму штучної імунної системи, а саме алгоритму клонального відбору (CLONALG) [7], блок схему якого наведено на рис. 1.

Алгоритм реалізовано за допомогою мов програмування R та C++. Він маніпулює векто-



Рис. 1. Блок-схема алгоритму CLONALG

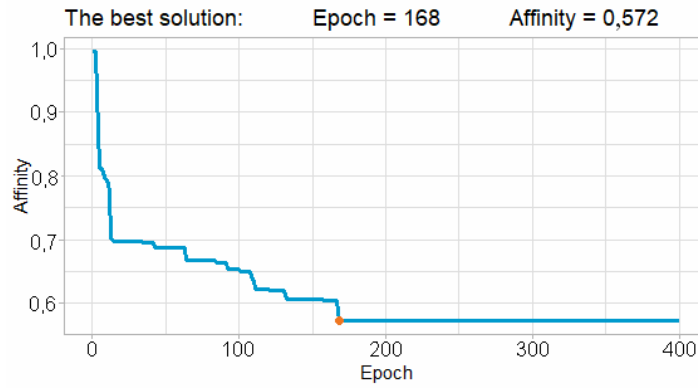


Рис. 2. Результати розрахунків штучної імунної системи



Рис. 3. Оптимальне розміщення 24 зарядних станцій в м. Дніпро

ром дійсних чисел, де кожен елемент – це номер автомобільного майданчика, на який необхідно встановити зарядну станцію. Довжина вектору дорівнює кількості зарядних пристроїв, які

необхідно розмістити у місті Дніпро. Розроблена програма передбачає вибір цієї величини користувачем. На рис. 2 наведено графік, що відображує збіжність процесу налаштування штучної

імунної системи для пошуку розв'язку задачі комбінаторної оптимізації методом клонального відбору, робота якого залежить від таких параметрів алгоритму: розмір популяції, коефіцієнт клонування, коефіцієнт найгірших антитіл, кількість клонів [8].

За допомогою бібліотек shiny та leaflet отримані результати розрахунків були відображені на інтерактивній карті міста Дніпра. На рис. 3 наведено оптимальне розміщення 24 зарядних станцій. Крім того, на карті кожній розташованій зарядній станції поставлений у відповідність свій колір, і цим кольором позначені найближчі до нього існуючі майданчики. Отже, водночас із розташуванням зарядних станцій здійснене розбиття множини всіх функціонуючих майданчиків для паркування автотранспорту на підмножини, в межах яких найближча зарядна станція одна й та сама.

Висновки

Отже, в роботі розв'язана задача оптимального розміщення зарядних станцій для електромобілів в м. Дніпро у припущенні, що такими станціями вигідно обладнувати насамперед існуючі майданчики для паркування автомобілів. При цьому ставилася за мету мінімізація відстані від найвіддаленішого майданчика для паркування автотранспорту до найближчої зарядної станції. Кількість зарядних станцій, які розміщувалися, розрахована за допомогою методів теорії масового обслуговування. З урахуванням результатів аналізу ринку електромобілів як в цілому по Україні, так і в самому м. Дніпро, числа власників електричних автомобілів, технічних характеристик електромобілів і зарядок, а також параметрів роботи вже функціонуючих на території міста зарядних станцій виявлено, що для задоволення попиту майже 93% водіїв електромобілів достатньо розмістити на території міста 73 зарядних пістолети. У припущенні, що кожна станція має в середньому по 3 зарядні пістолети, серед функціонуючих автостоянок знайдено 24 тих, де найбільш раціонально (за територіальним критерієм) встановити зарядні пристрої. Оптимальне розміщення зарядних станцій на території міста, а також найближчі до кожної з них автомобільні стоянки представлені на карті міста Дніпра.

Надалі корисно при моделюванні задачі оптимального розміщення станцій враховувати рівномірне навантаження на всі станції, можливий прибуток і термін окупності вкладених інвестицій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Панченко В.Г., Резнікова Н.В. Цілі сталого розвитку: Дніпро 2030. Регіональна доповідь. – Дніпро, 2018. – 153 с.
2. Xiang Liu, Ning Wang, Decun Dong. A Cost-Oriented Optimal Model of Electric Vehicle Taxi Systems // Sustainability. – 2018. – 10. – 1557. – P.23.
3. Yudai Honma, Shigeki Toriumi. Mathematical Analysis of Electric Vehicle Movement With Respect to Multiple Charging Stops // Journal of Energy Engineering. – 2017. – P.10.
4. Mujde Erol Genevois, Hatice Kocaman. Locating Electric Vehicle Charging Stations in Istanbul with AHP Based Mathematical Modelling // International Journal of Transportation Systems. – 2018. – P.10.
5. Csaba Farkas, Laszlo Prikler. Stochastic modelling of EV charging at charging stations // International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12) Santiago de Compostela (Spain). – 2012 – P.6.
6. Chu Yue Chen, Guowei Hua A New Model for Optimal Deployment of Electric Vehicle Charging and Battery Swapping Stations. // International Journal of Control and Automation. – 2014. – P.12.
7. Колоколов А.А., Леванова Т.В., Поздняков Ю.С. Алгоритмы искусственной иммунной системы для вариантной задачи размещения телекоммуникационных центров // Изв. Иркутского гос. Ун-та. Сер. Математика / ИГУ. – Иркутск, 2013. – Т.6. – Вып.1. – С.35-44.
8. Brownlee J. Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes. First Edition. LuLu. January // Springer. – 2011. – P.265-276 p.

Надійшла до редакції 03.05.2019

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА И МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

Коряшкіна Л.С., Беляев А.Р.

В работе рассматривается задача оптимального размещения зарядных станций для электромобилей в городе Днепр в предположении, что такими станциями необходимо оборудовать, в первую очередь, существующие места для парковки автотранспорта. Представлены результаты анализа рынка электромобилей как в целом по Украине, так и в самом городе Днепр. На основе информации о количестве владельцев электрических автомобилей, технических параметрах электромобилей и зарядок, а так же параметрах работы уже функционирующих на территории города зарядных станций, решается вначале вопрос о рациональном количестве зарядных станций, которые необходимо разместить для удовлетворения текущего спроса. Далее, с учетом транспортной инфраструктуры города, среди функционирующих автостоянок осуществляется поиск в нужном количестве тех, где наиболее рационально (по территориальному критерию) установить зарядные устройства. Целью оптимизации является минимизация расстояния от самой дальней площадки для парковки автотранспорта до ближайшей зарядной станции. Определение оптимального количества зарядных станций в городе Днепр, которые

обеспечивают минимальные суммарные расходы от простоя постов и отказов на обслуживание, реализовано с помощью моделей и методов теории массового обслуживания. Проведен анализ таких параметров системы массового обслуживания, как поток заявок и возможная продуктивность каналов. Реализация системы массового обслуживания реализована на языке программирования C++ с использованием следующих исходных условий. Расчёт оптимального количества зарядных пистолетов на территории города осуществляется в предположении, что в стоимостном выражении доходы от эксплуатации одного зарядного пистолета и расходы на его содержание при вынужденном простое почти одни и те же. А коэффициент чистого дохода зарядной станции для электромобилей является пропорциональным разнице между средним количеством электромобилей, которые обслуживаются системой, и числом пистолетов, которые вынужденно простаивают. Для решения задачи комбинаторной оптимизации используется приближенный алгоритм искусственной иммунной системы.

Ключевые слова: электромобили, зарядные станции, оптимальное размещение, комбинаторная оптимизация, иммунные системы, геоинформационные технологии.

DETERMINATION OF OPTIMAL NUMBER AND PLACES OF LOCATION OF CHARGING STATION FOR ELECTRIC VEHICLES INSIDE THE CITY

Koriashkina L.S., Belyaev A.R.

Dnipro Polytechnic, Dnipro, Ukraine

The article deals with the problem of optimal placement of charging stations for electric vehicles in Dnipro under the assumption that the existing sites for parking should be primarily equipped with such stations. Based on the results of electric vehicles market analysis, generally in Ukraine, as well as inside Dnipro city, of the number of electric car owners, technical parameters of electric vehicles and charging stations and also operation conditions of charging stations that already exist in the territory of the city, the issue about rational quantity of charging stations which need to be placed for satisfying current demand should be settled above all. After that, taking into consideration transport infrastructure of the city, the search of the estimated number of car parking lots among operational ones is carried out in order to find the ones where chargers are mostly rational to be installed (according to territorial criterion). Thus, the purpose of optimization is to minimize the distance from the most remote car parking lot to the nearest charging station. Determination of the optimal number of charging stations in Dnipro, which ensures minimal total losses from posts downtime and service denial, is carried out using models and methods of Queuing theory. The analysis of such parameters of the Queuing system as the flow of applications and the possible efficiency of channels was carried out. The implementation of the Queuing system is effected using C++ programming language with the following source data. The calculation of the optimal number of charging pistols in the city is based on the assumption that in terms of value, income from one charging pistol operation and expenses for its maintenance under forced downtime are almost the same and the coefficient of net income of charging station for electric vehicles is proportional to the difference between the average number of electric vehicles serviced by the system and the number of pistols forced to stand idle. To solve the combinatorial optimization issue, the approximate algorithm of the artificial immune system is used.

Keywords: electric vehicles, charging stations, optimal placement, combinatorial optimization, immune systems, geoinformation technologies.

REFERENCES

1. Panchenko V.G., Reznikova N.V. *Cili stalogo rozvitku: Dnipro 2030. Regional'na dopovid'* [Sustainable Development Goals: Dnipro 2030. Regional Report]. Dnipro, 2018, 153 p. (in Ukrainian).
2. Xiang Liu, Ning Wang, Decun Dong. A Cost-Oriented Optimal Model of Electric Vehicle Taxi Systems. *Sustainability*, 2018, 10, 1557, 23 p., doi:10.3390/su10051557.
3. Yudai Honma, Shigeki Toriumi. Mathematical Analysis of Electric Vehicle Movement With Respect to Multiple Charging. *Journal of Energy Engineering Stops*, 2017, 10 p.
4. Mujde Erol Genevois, Hatice Kocaman. Locating Electric Vehicle Charging Stations in Istanbul with AHP Based Mathematical Modelling. *International Journal of Transportation Systems*, 2018, 10 p.
5. Ssaba Farkas, Laszlo Prikler. Stochastic modelling of EV charging at charging stations. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12) Santiago de Compostela (Spain)*, 2012, 6 p.
6. Chuyue Chen, Guowei Hua A New Model for Optimal Deployment of Electric Vehicle Charging and Battery Swapping Stations. *International Journal of Control and Automation*, 2014, 2 p.
7. Kolokolov A.A., Levanova T.V., Pozdnjakov Ju.S. *Algoritmy iskusstvennoj immunnnoj sistemy dlja variantnoj zadachi razmeshhenija telekommunikacionnyh centrov* [Artificial immune system algorithms for the multivariant problem of the telecommunications centers location]. *Izv. Irkutskogo gos. Un-ta. Ser. Matematika* [The bulletin of Irkutsk state university. Series «Mathematics»], IGU, Irkutsk, 2013, vyp.1, pp.35-44. (in Russian).
8. Brownlee J. *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. First Edition, LuLu, January 2011, pp.265-276.