

УДК 621.577:624.19:536.24

КОМПЛЕКСНА 3D МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕПЛОВОГО ВПЛИВУ ТУНЕЛЮ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА РОБОТУ ВЕРТИКАЛЬНИХ ҐРУНТОВИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

Задіранов Вадим Сергійович, аспірант,
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова,
e-mail: vadimharij@gmail.com, ORCID ID 0009-0002-9179-9753

Сучасні міські підземні транспортні споруди є стабільними джерелами техногенного тепловиділення [1]. Умови тривалої експлуатації метрополітену призводять до поступового підвищення температури прилеглого ґрунту, що може розглядатися як додатковий низькопотенційний енергетичний ресурс для геотермальної системи. Для реалізації вирішення цього завдання була створена просторова чисельна модель спільної роботи перегінного тунелю метрополітену та масиву вертикальних ґрунтових теплообмінників в умовах м. Харків і створена кількісна оцінка впливу теплового навантаження тунелю на енергетичні показники геотермального поля. Прикладом слугує ділянка біля станції метро «Вокзальна» в м. Харків.

Побудовано тривимірну модель ґрунтового масиву глибиною 115 м з урахуванням локальних ґрунтів. Теплофізичні характеристики шарів ґрунту прийнято відповідно до інженерно-геологічних даних для м. Харків [2].

Тунель змодельовано як круглу конструкцію внутрішнім діаметром 5,1 м, розташовану на глибині 16,5 м, з чавунною обробкою товщиною 0,4 м (рис. 1). Лінійне теплове навантаження від поїздів і пасажирів прийнято 180 Вт/м, швидкість руху повітряних мас в тунелі - 5 м/с [3].

Спочатку було виконано 50-річне моделювання теплового впливу тунелю на непорушений ґрунт без роботи теплообмінників. Аналізувалась середня об'ємна температура репрезентативного блоку ґрунту, з якого в подальшому здійснюється відбір теплоти.

Результати показали, що за умов постійної експлуатації тунелю середня температура ґрунтового блоку зростає приблизно на 1,3-1,5°C порівняно з варіантом без тунелю. До кінця розрахункового періоду формується квазістаціонарний тепловий режим (рис. 2).

Отриманий результат принципово важливий для інженерних розрахунків: початкові умови для геотермального поля повинні враховувати попередній багаторічний прогрів ґрунту. У подальших розрахунках теплообмінники вводились у попередньо прогрітий ґрунт.

Після формування прогрітого ґрунту в модель було введено масив із 30 вертикальних теплообмінників глибиною 100 м, що розміщені в 1 ряд. Витрата теплоносія через одну свердловину становить 0,2 л/с, температура на вході – 5 С.

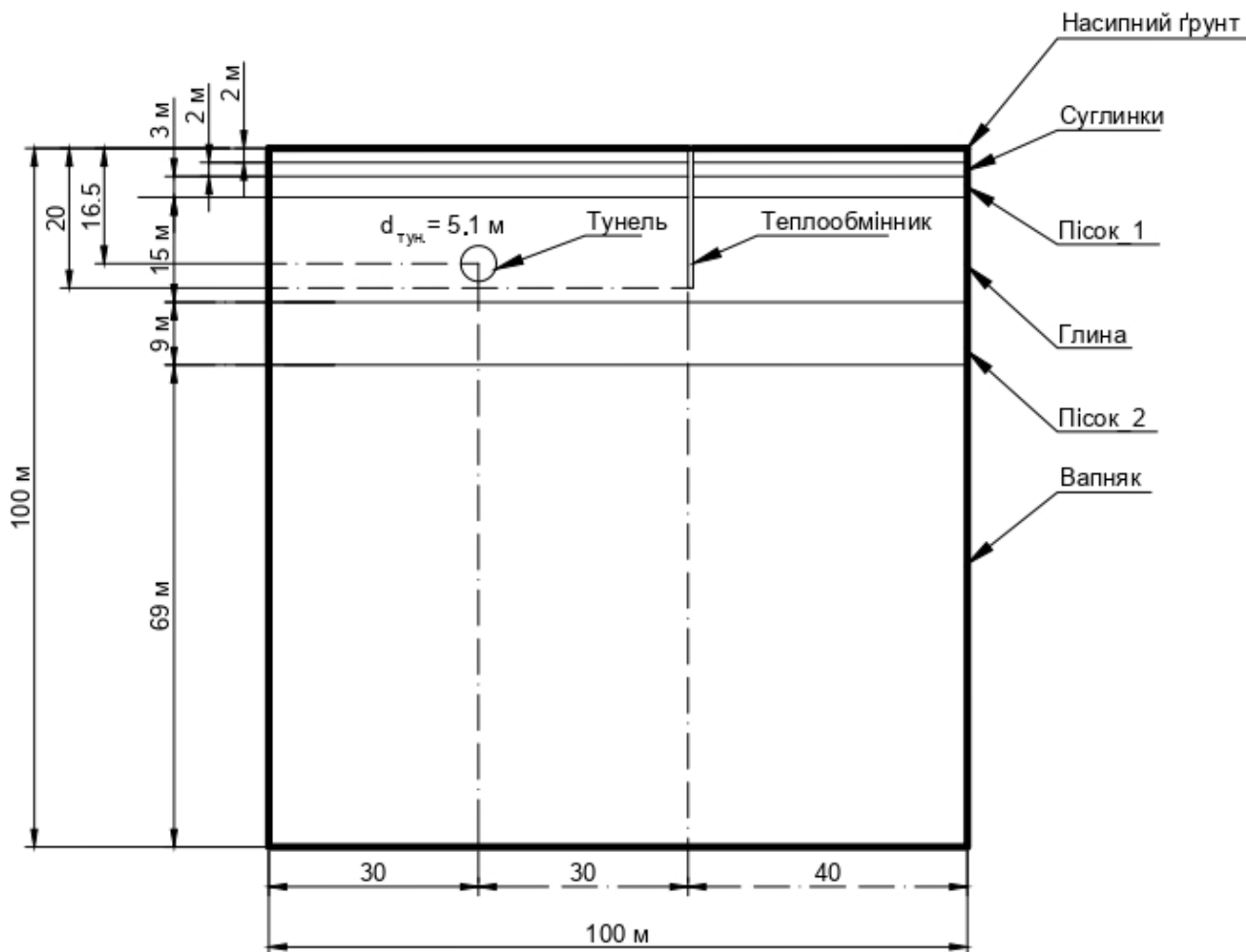


Рисунок 1 – Геометрична схема моделі [2]

Порівняння сценаріїв з урахуванням та без урахування тунелю показало (рис. 3, 4):

1) температура теплоносія на виході зі свердловин у випадку врахування тунелю вища на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;

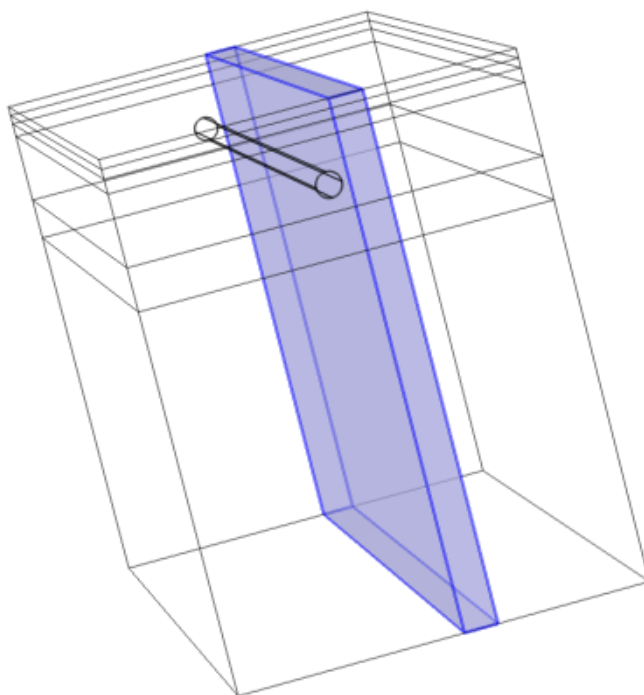
2) середня теплова потужність відбору зростає на $26,7\%$ при мінімальній відстані 5 м між тунелем і масивом;

3) зі збільшенням відстані ефект закономірно зменшується (до 4% при 20 м).

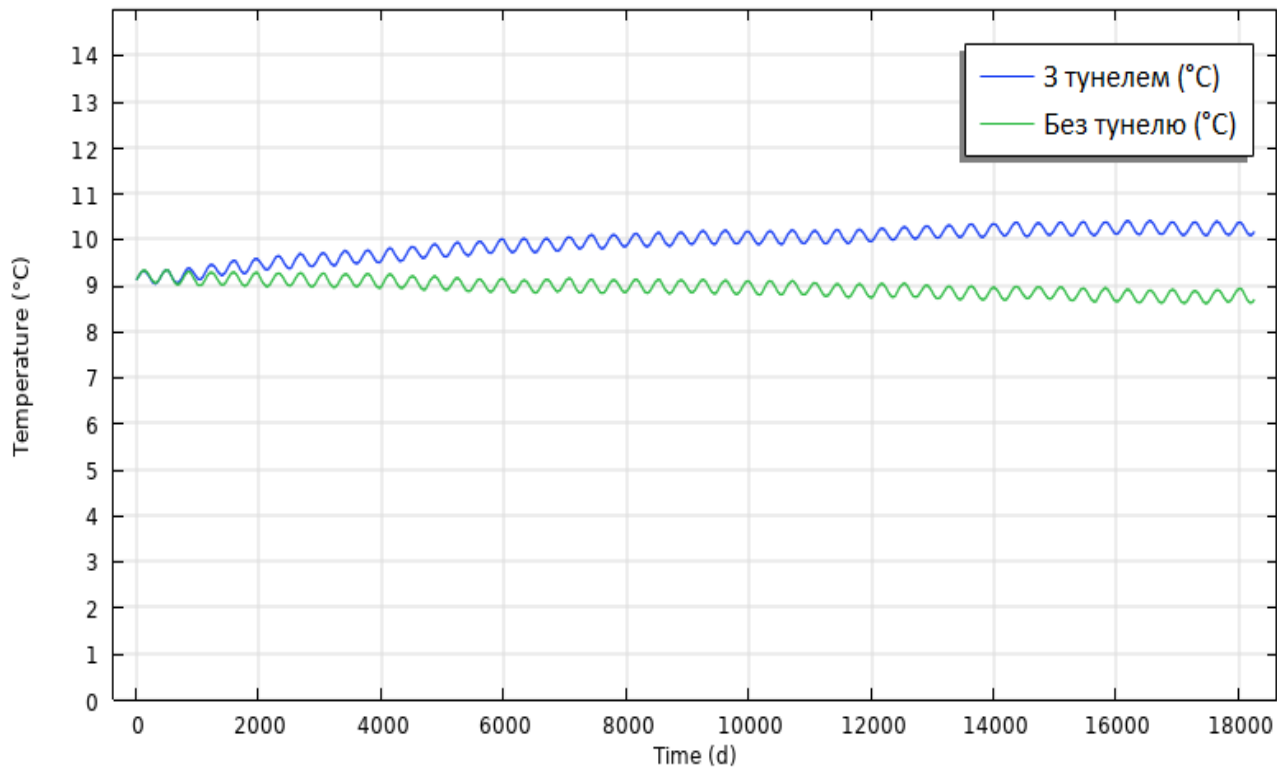
4) Отримані результати свідчать, що теплове навантаження тунелю може розглядатися як фактор підвищення ефективності геотермального поля. Величина ефекту визначається геометрією масиву та відстанню до тунелю.

5) Також виконано розрахунки для конфігурації поля теплообмінників у 2 паралельні ряди по 15 свердловин за незмінній глибині, кроках та режимах роботи. У цьому випадку тепловий вплив тунелю також зберігається, однак через більш щільне розміщення свердловин посилюється теплова взаємодія між свердловинами й формується ширша зона охолодження ґрунту. В такому випадку приріст середньої температури теплоносія при врахуванні тунелю

становить близько $0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$, а середня теплова потужність відбору зростає приблизно на $21,3\%$ порівняно з випадком без теплового впливу тунелю.

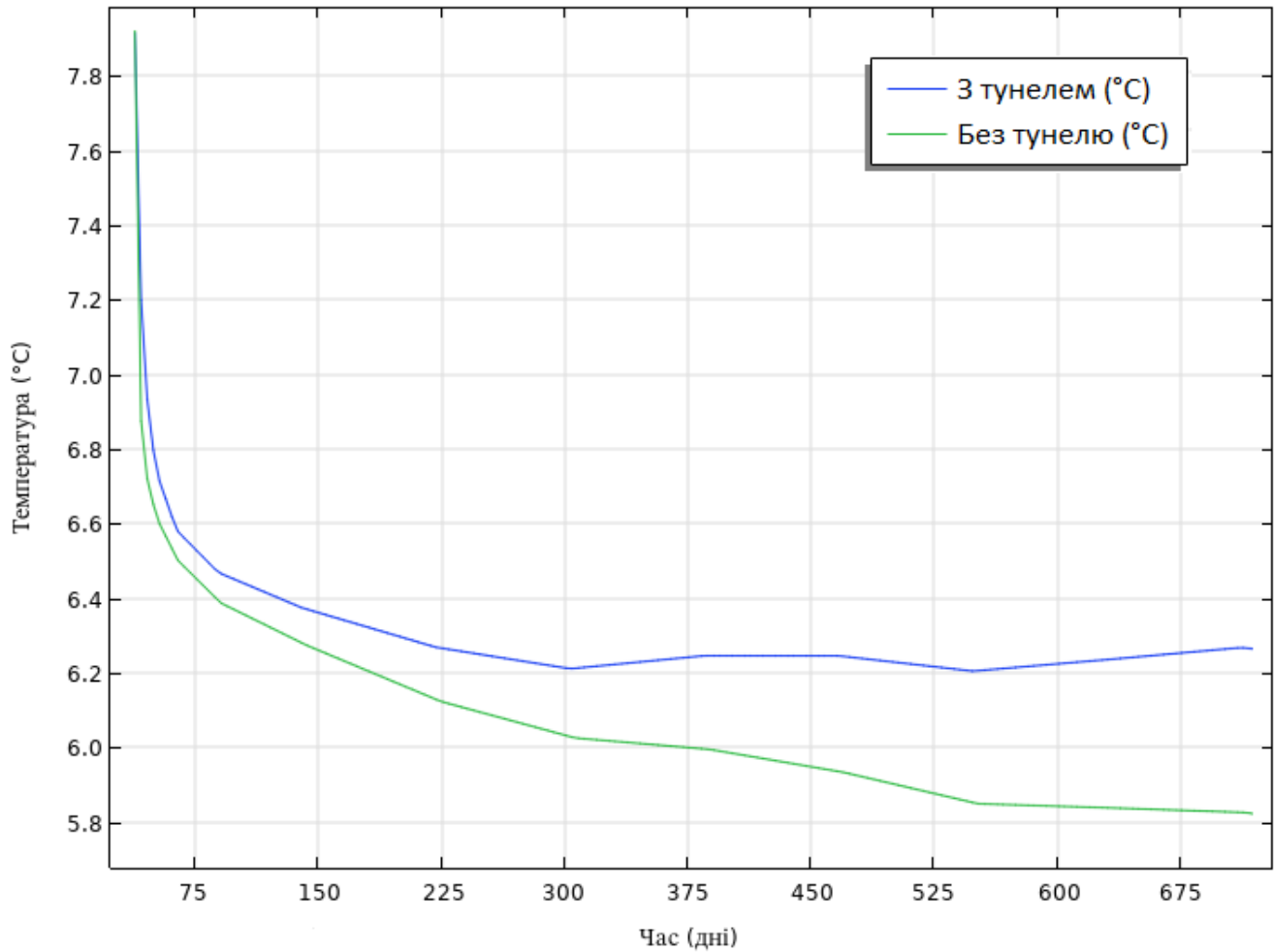


(a)

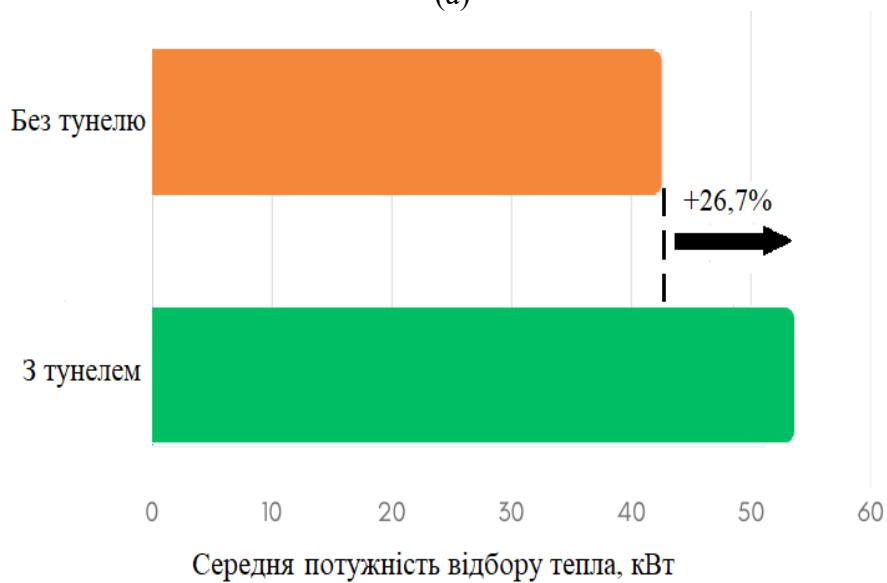


(б)

Рисунок 2 – Блок ґрунту (а) і середня температура ґрунту на протязі 50 років (б)

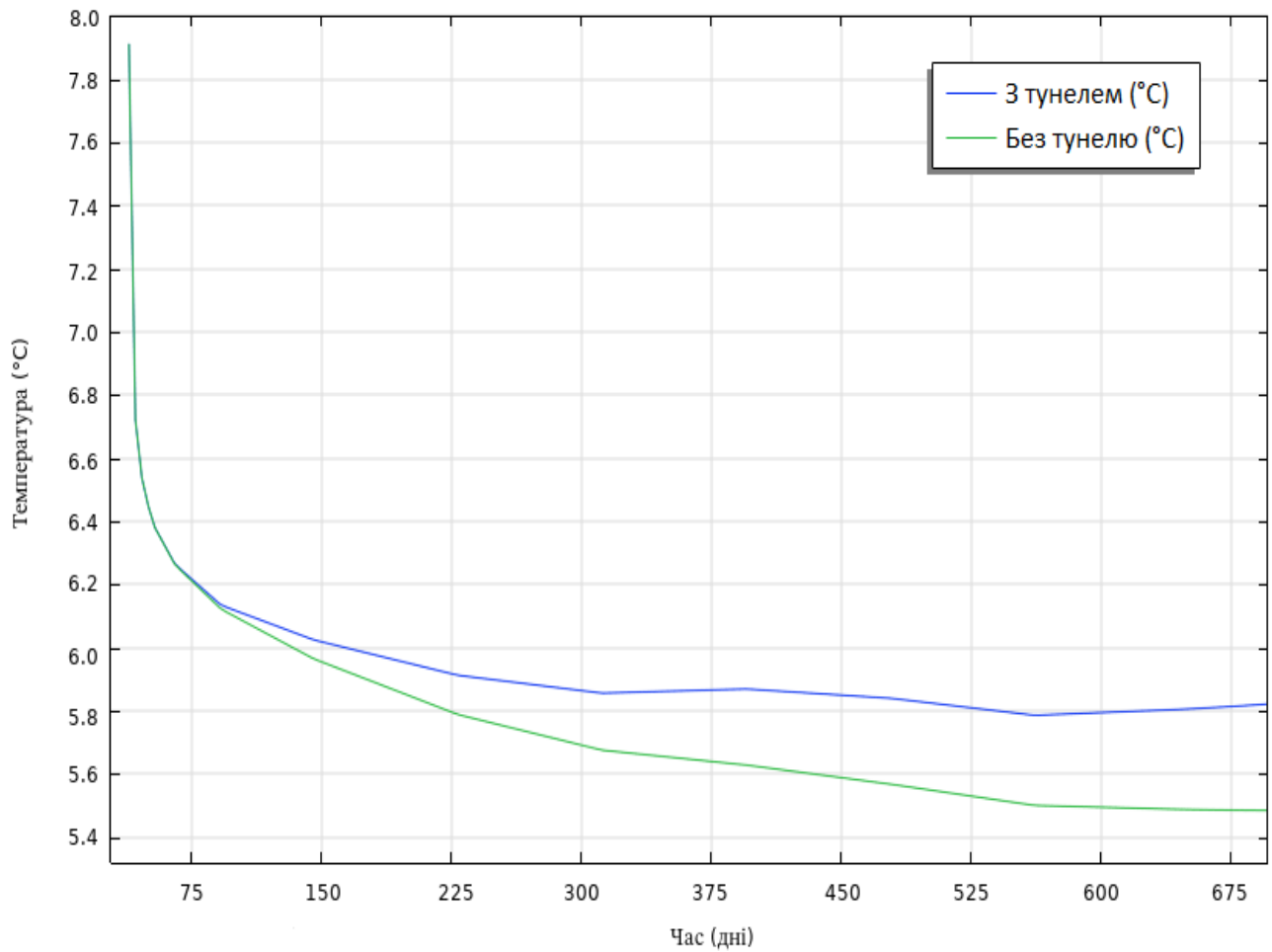


(a)

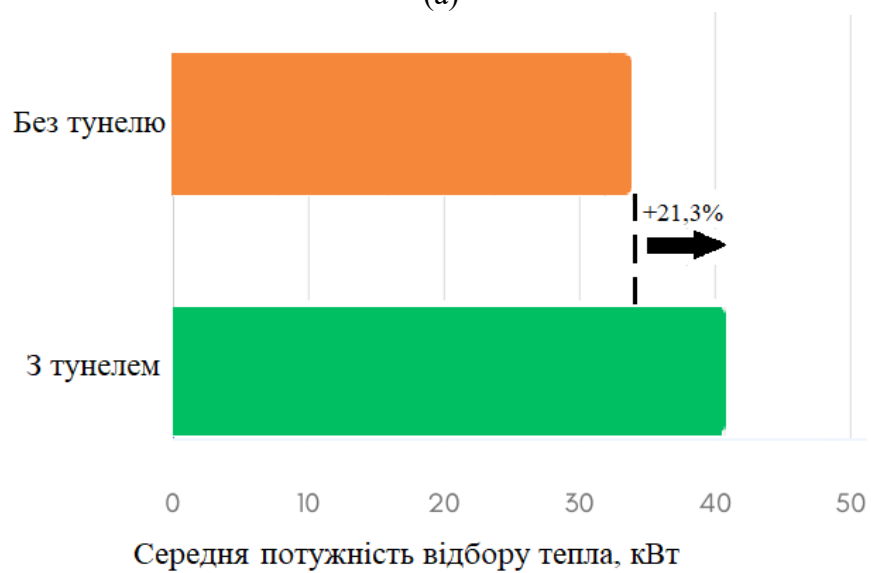


(б)

Рисунок 3 – Середня температура (а) теплоносія і середня потужність (б) відбору тепла в масиві з 30 теплообмінників (1 ряд).



(a)



(б)

Рисунок 4 – Середня температура (а) теплоносія і середня потужність (б) відбору тепла в масиві з 2 рядів по 15 теплообмінників

Висновки

Комбінована 3D-модель показала, що тунель метрополітену формує стійкий тепловий фон у прилеглому ґрунті, тому при оцінці роботи вертикальних ґрунтових теплообмінників у зоні впливу метро необхідно враховувати сам тунель і прогрітий ним масив. Після введення теплообмінників видно практичний результат: за наявності тунелю система працює в більш сприятливих температурних умовах і має кращі передумови для стабільного відбору теплоти. Порівняння конфігурацій поля (1×30 та 2×15) підтвердило, що компоновка змінює картину охолодження ґрунту та взаємний вплив свердловин, однак тепловий внесок тунелю зберігається в обох випадках. Також встановлено очевидну закономірність: чим ближче поле розташоване до тунелю, тим відчутніший його вплив, а зі збільшенням відстані ефект поступово слабшає, що робить дистанцію до тунелю простим проєктним параметром для міських умов.

Література

1. **Задіранов В. С.** Огляд досвіду утилізації скидної теплоти метрополітену. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2024. № 48. С. 50–66. DOI: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2024.48.50-66>.
2. **Задіранов В. С.** Моделювання утилізації теплоти метрополітену з використанням вертикального ґрунтового теплообмінника та теплового насоса в умовах Харкова. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2025. № 54. С. 122–139. DOI: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2025.54.122-139>.
3. **Задіранов В. С.** Чисельне 3D-моделювання нестационарного температурного поля внутрішньої поверхні тунелю метрополітену. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2025. № 55. С. 96–114. DOI: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2025.55.96-114>.

УДК 629.331:621.355

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У МІСЬКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Селіванов Іван Олексійович, аспірант,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
e-mail: ivan.selivanov@ieee.khpi.edu.ua, ORCID ID: 0009-0005-5719-3418

Розвиток електромобільного транспорту є однією з ключових тенденцій сучасної автомобільної індустрії. В умовах динамічних змін у світовій економіці, зростання вартості енергоресурсів та періодичної нестабільності на ринку паливних ресурсів особливої актуальності набуває пошук ефективних і надійних альтернативних видів транспорту. Збільшення частки використання електромобілів сприяє зменшенню залежності від традиційних видів палива, підвищенню енергетичної незалежності та створенню більш стійких транспортних систем.

Ключовим елементом таких транспортних засобів є акумуляторні батареї. Під час експлуатації електромобілів акумуляторні батареї зазнають значних