

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

(назва факультету)

КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І ФІЗИКИ

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

другого (магістерського) рівня освіти

(рівень вищої освіти)

на тему Моделювання збору п'єзоелектричної енергії з дорожніх покриттів під навантаженням від транспорту

Виконав: студент 2 курсу групи БЕЛ
спеціальності 141. Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

освітньо- Нетрадиційні та відновлювані
професійної джерела енергії
програми (назва ОПП)

Богомол В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.ф.-м. н., доц. Івченко В.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. доц. Мешков Ю.Є.
(прізвище та ініціали)

Хмельницький – 2025 р.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему «Моделювання збору п'єзоелектричної енергії з дорожніх покриттів під навантаженням від транспорту».

Робота включає в себе вступ та пояснювальну записку. Пояснювальна записка містить 88 сторінок формату А4, 8 рисунків, 8 таблиць, 41 формулу, 66 використаних джерел, 1 додаток.

Актуальність дослідження зумовлена зростаючою потребою у створенні автономних систем живлення для бездротових сенсорних мереж, які забезпечують моніторинг технічного стану транспортних споруд без необхідності частого обслуговування та заміни джерел живлення.

У роботі проведено аналітичний огляд сучасних методів перетворення механічної енергії у електричну, визначено переваги та обмеження надповерхневих та вбудованих п'єзоелектричних систем.

Параметричний аналіз показав, що ефективність перетворення енергії залежить від швидкості руху транспортного навантаження, жорсткості основи та розташування п'єзоелектричного перетворювача. Отримані результати підтверджують перспективність використання таких систем для автономного живлення сенсорних мереж на дорогах та мостах, що сприяє підвищенню безпеки руху та продовженню строку експлуатації споруд.

Практична значущість роботи полягає у можливості застосування розробленої моделі для проектування ефективних п'єзоелектричних енергозбирачів, а також у використанні результатів у навчальному процесі для підготовки фахівців у галузі електроенергетики та транспортної інфраструктури.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Підходи до збору енергії від транспортних систем.....	8
1.2 Проблематика та теоретичне моделювання.....	11
1.3 Висновки.....	13
2 МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА.....	15
2.1 Математична модель системи пружного дорожнього покриття.....	15
2.2 Випадок А: одноколісне навантаження.....	18
2.3 Випадок В: чотириколісне навантаження.....	20
2.4 П'єзоелектричний збір енергії.....	20
2.5 Висновки.....	22
3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	23
3.1 Комп'ютерна програма для проведення числових розрахунків	23
3.2 Валідація та порівняння.....	32
3.3 Числові результати та обговорення.....	33
3.4 Висновки.....	38
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	39
4.1 Методика визначення економічної ефективності науково-дослідної роботи.....	39
4.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження та економічної ефективності науково-дослідної роботи.....	45
4.3 Висновки.....	48
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	50
5.1 Виробнича санітарія та вибір оптимальних метеоумов	50
5.2 Виробниче освітлення	51
5.3 Заходи з боротьби із запиленістю та загазованістю виробничих приміщень.....	62

5.4 Захист від шуму та вібрацій.....	63
5.5 Техніко-економічний розрахунок освітлення виробничих приміщень.....	65
5.6 Визначення ефективності заходів, спрямованих на поліпшення умов праці.....	68
5.7 Висновки.....	70
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТОК А Результати апробації роботи	85

ВСТУП

Сучасний розвиток транспортної інфраструктури супроводжується постійним зростанням енергоспоживання та потребою у впровадженні енергоефективних і екологічно безпечних технологій. Одним із перспективних напрямів у цій сфері є використання п'єзоелектричних матеріалів для збору енергії механічних коливань і навантажень, що виникають під час руху транспортних засобів. Такий підхід дозволяє не лише частково компенсувати енергетичні витрати, пов'язані з експлуатацією дорожньої інфраструктури, а й створити умови для живлення локальних систем — датчиків трафіку, освітлення, інформаційних табло тощо.

П'єзоелектричні матеріали здатні перетворювати механічну енергію тиску або деформації на електричну. При вбудуванні таких елементів у дорожнє покриття відбувається генерація електричного заряду під дією навантажень від коліс транспортних засобів. Отримана енергія може накопичуватися у спеціальних системах зберігання або безпосередньо використовуватись для живлення пристроїв малої потужності.

Актуальність теми зумовлена необхідністю пошуку нових джерел відновлюваної енергії, особливо в умовах зростаючого трафіку та навантаження на дорожню мережу. Моделювання процесів збору п'єзоелектричної енергії дозволяє оцінити ефективність різних конструкцій покриття, параметрів матеріалів та умов експлуатації, що є важливим етапом перед практичною реалізацією таких систем.

Метою даної роботи є розроблення теоретичної моделі збору п'єзоелектричної енергії від деформацій дорожнього покриття під дією рухомого навантаження з урахуванням впливу параметрів дорожньої конструкції та просторового розташування перетворювача на ефективність енергозбору.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасні методи збору енергії транспортних систем та визначити їхні переваги й обмеження.
2. Розробити аналітичну модель п'єзоелектричного енергозбирача на основі теорії пластин Кірхгофа, що спирається на основу Вінклера.
3. Отримати аналітичні вирази для визначення вихідної напруги та потужності п'єзоелектричного перетворювача.
4. Провести параметричний аналіз впливу швидкості рухомого навантаження, модуля пружності основи та розташування перетворювача на ефективність збору енергії.
5. Оцінити перспективи практичного застосування результатів для автономного живлення сенсорних вузлів систем моніторингу технічного стану транспортних споруд.

Наукова новизна роботи

Наукова новизна полягає у розробленні аналітичного підходу до моделювання процесу збору енергії від деформацій дорожнього покриття, що враховує динамічну взаємодію транспортного навантаження з плитою на основі Вінклера та вплив просторового розташування п'єзоелектричного елемента на ефективність енергозбору. Отримані результати дозволяють глибше зрозуміти механізми перетворення механічної енергії у електричну в умовах реального транспортного навантаження.

Практичне значення роботи

Практичне значення полягає у можливості використання отриманих результатів для оптимізації конструкції та розміщення п'єзоелектричних перетворювачів під час проектування енергозбираючих систем у дорожніх і мостових спорудах. Це сприятиме створенню автономних систем живлення для бездротових сенсорних мереж, що забезпечують довготривалий

моніторинг технічного стану інфраструктурних об'єктів без необхідності заміни джерел живлення.

Структура роботи

Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел.

У першому розділі представлено огляд літератури та аналіз існуючих підходів до збору енергії транспортних систем.

Другий розділ присвячено побудові теоретичної моделі енергозбирача на основі теорії пластин Кірхгофа.

У третьому розділі наведено результати параметричних досліджень та їх аналіз.

У висновках сформульовано основні наукові та практичні результати роботи.