

КІНЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЛОКАЛІЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ДОЩОВИХ КРАПЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Ця робота присвячена ідеї отримання енергії зі звичайних дощових крапель за допомогою п'єзоелектричних генераторів. Замість того, щоб заглиблюватися у складний хімічний аналіз матеріалів, ми сфокусувалися на самій механіці удару. Якщо правильно розрахувати швидкість падіння води та підібрати оптимальний кут нахилу приймальної панелі, можна отримати максимум струму і при цьому не дати воді застоюватися на поверхні.

Ключові слова: п'єзоелектричний генератор, мікроенергетика, кінематика краплі, гранична швидкість, пружний удар, оптимізація кута.

Abstract

This work is devoted to the physical and mathematical modeling of the process of harvesting the kinetic energy of raindrops using piezoelectric generators. Instead of the common materials science approach, the emphasis is placed on impact kinematics, the calculation of terminal falling velocity, and local climatic specifics. The proposed model justifies the optimization of the tilt angle of the receiving panel to maximize energy conversion efficiency while maintaining the throughput of the surface.

Keywords: piezoelectric generator, microenergetics, raindrop kinematics, terminal velocity, elastic impact, angle optimization.

Вступ

Сьогодні всі шукають нові джерела енергії. Сонячні панелі та вітряки - це чудово і звично, але є ще такий цікавий напрямок, як мікроенергетика. Наприклад, збір енергії з дощу. Звучить трохи незвично, правда? Більшість науковців зараз намагаються створити якісь нові інноваційні полімери для таких генераторів [3]. А ми вирішили піти іншим шляхом і подивитися на цей процес з точки зору класичної кінематики. Наша головна мета - зрозуміти, як саме крапля б'ється об поверхню і як треба розташувати панель, щоб отримати від цього найбільшу електричну віддачу.

Результати дослідження

Щоб зрозуміти, як механічний удар перетворюється на струм, потрібно розібрати процес покроково: від польоту краплі до реакції самої панелі.

1. Як летить крапля і скільки в ній енергії

Коли крапля падає з неба, вона не розганяється вічно. Повітря створює опір і гальмує її. У певний момент швидкість стабілізується - це так звана гранична швидкість v_t . Вона настає, коли сила тяжіння та опір повітря зрівнюються, і рахується за такою формулою [1]:

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{\rho AC_d}}$$

Тут усе досить логічно: m - це маса краплі, g - прискорення вільного падіння, ρ - густина повітря, A - площа перерізу, а C_d - коефіцієнт опору (для круглих крапель він становить приблизно 0.47).
А кінетична енергія в момент удару розраховується за звичайною шкільною формулою [1]:

$$E_k = \frac{1}{2}mv_t^2$$

2. П'єзоелектрика та проблема "калюжі"

Коли крапля б'є по п'єзоелементу, він деформується і видає електричний заряд [2]. Але тут виникає суто практична проблема. Якщо покласти панель рівно горизонтально, на ній швидко збереться вода. Наступні краплі будуть просто бити по цій калюжі, втрачаючи свою енергію, а сам генератор нічого не відчує.

Щоб цього уникнути, панель треба нахилити під певним кутом α . У такому разі корисна сила удару, яка деформує генератор, буде трохи меншою і розраховуватиметься так [1,3]:

$$F_n = F \cos \alpha$$

Проте цей компроміс того вартий. Вода швидко стікатиме, і ми не втратимо загальну ефективність системи.

3. Локальний розрахунок для нашого клімату

Якщо взяти статистику опадів, скажімо, для Вінниці, можна легко прикинути реальну користь від такої панелі розміром 1 квадратний метр. Наші розрахунки показують цікаву деталь: найбільше енергії генерують не затяжні осінні дощі, а короткі потужні зливи. Саме великі краплі дають той сильний імпульс, який потрібен генератору.

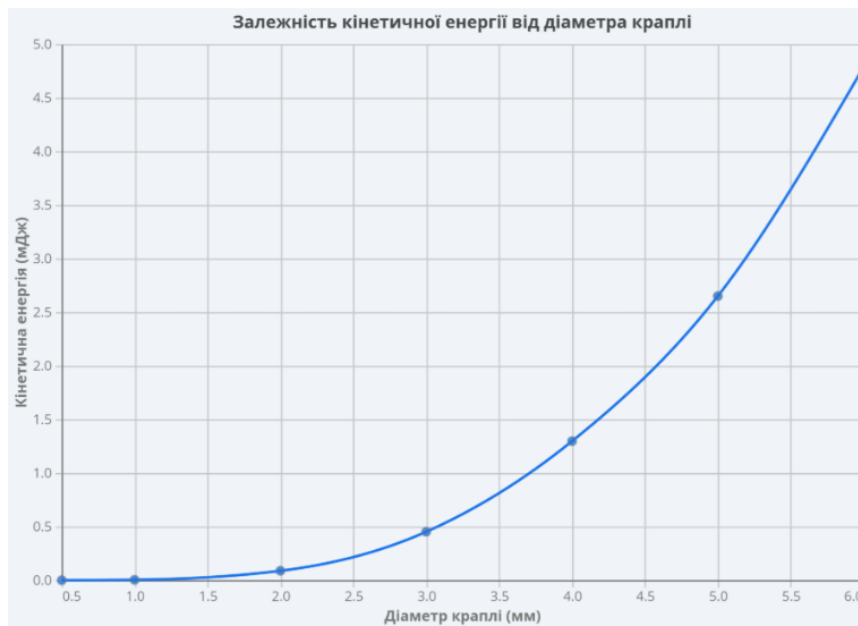


Рисунок 1. Залежність кінетичної енергії зіткнення від еквівалентного діаметра дощової краплі.

Щоб перевести ці міркування у конкретні цифри, розрахуємо питому потужність такої приймальної панелі. Загальна механічна потужність $P_{\text{мех}}$, що припадає на 1 м² поверхні, залежить від інтенсивності опадів I (мм/год). Оскільки 1 мм опадів на 1 м² дорівнює 1 літру (або 1 кг) води, масова витрата води становить $\dot{m} = \frac{\rho_w I}{3600}$, де ρ_w - густина води. Підставивши це в класичне рівняння кінетичної енергії, отримаємо формулу механічної потужності дощу:

$$P_{\text{мех}} = \frac{1}{2} \dot{m} v_t^2 = \frac{\rho_w I v_t^2}{7200}$$

Реальна електрична потужність, яку може згенерувати п'єзоелемент $P_{ел}$, визначається з урахуванням коефіцієнта корисного перетворення η . Для сучасних матеріалів на основі оксиду цинку (ZnO) він становить близько 5% ($\eta = 0.05$) [2]:

$$P_{ел} = P_{мех} \cdot \eta$$

Використовуючи ці формули, ми розрахували енергетичний потенціал для різних типів опадів, характерних для нашого кліматичного поясу (таблиця 1).

Таблиця 1. Енергетичний потенціал дощу залежно від інтенсивності опадів

Тип опадів	Інтенсивність I, мм/год	Середня швидкість крапель vt, м/с	Механічна потужність $P_{мех}$, мВт/м ²	Електрична потужність $P_{ел}$, мВт/м ²
Легкий дощ	2	4.0	4.4	0.22
Сильний дощ	15	7.5	117.2	5.86
Потужна злива	40	8.8	430.2	21.51

Висновки

Проведений аналіз підтверджує фізичну життєздатність концепції збору кінетичної енергії дощу. Математичне моделювання балістики краплі демонструє, що інтеграція п'єзоелектричних панелей із правильним кутот нахилу дозволяє ефективно перетворювати механічні імпульси на електричний заряд. Використання кутової оптимізації нівелює проблему демпфування ударів залишковою водою. Цей метод може бути використаний як допоміжне джерело живлення для автономних датчиків у системах "розумного міста" [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савельєв І. В. Курс загальної фізики. Механіка. Молекулярна фізика / І. В. Савельєв. - Київ: Вища школа, 2004.
2. Wang Z. L. Piezoelectric Nanogenerators Based on Zinc Oxide Nanowire Arrays / Z. L. Wang, J. Song // Science. - 2006. - Vol. 312.
3. Piyas M. A. Raindrop energy harvesting: A review / M. A. Piyas, M. A. A. Pendharkar // Sensors and Actuators A: Physical. - 2021.

Лисенко Максим Олегович - студент групи 4KN-25б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: lysenkomaximo@gmail.com.

Науковий керівник: **Мартинюк Володимир Валерійович** – канд. техн. наук, доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Lysenko Maksym Olehovych - student of group 4KN-25b, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Scientific supervisor: **Volodymyr Valeriyovych Martyniuk** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.