

МЕТОДИ ВІДБОРУ АТМОСФЕРНОЇ ЕЛЕКТРИКИ: ОБМЕЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі здійснено критичний аналіз методів збору атмосферної електрики (пасивних та активних). Розглянуто фундаментальні обмеження систем — низьку густину струму провідності в умовах «хорошої погоди» та проблему енергетичного балансу активних методів іонізації повітря. Обґрунтовано перспективність створення гібридних систем із використанням енергії вітру для ініціації коронного розряду та ефективного живлення малопотужних автономних пристроїв.

Ключові слова: атмосферна електрика, глобальне електричне коло, активна іонізація, коронний розряд, енергетичний баланс, гібридні системи, іонізація повітря.

Abstract

The paper provides a critical analysis of atmospheric electricity harvesting methods (passive and active). The fundamental limitations of such systems, namely the low conduction current density in fair weather conditions and the energy balance problem of active air ionization methods, are considered. The prospects of developing hybrid systems using wind energy to initiate a corona discharge and effectively power low-power autonomous devices are substantiated.

Keywords: atmospheric electricity, global electric circuit, active ionization, corona discharge, energy balance, hybrid systems, air ionization.

Вступ

Глобальне електричне коло (ГЕК) є природною електродинамічною системою, що підтримує квазістаціонарну різницю потенціалів між іоносферою та поверхнею Землі на рівні 250-300 кВ. Проте у приземному шарі атмосфери, за умов «хорошої погоди», густина вертикального струму провідності становить лише 1-3 рА/м² [1]. Така низька густина струму, зумовлена високим імпедансом повітря ($\sim 10^{14}$ Ом·м), є фундаментальним обмеженням використання атмосферної електрики [2].

Мета роботи

Критичний аналіз розвитку технічних рішень у сфері збору атмосферної електрики для виявлення їхніх спільних фізичних обмежень та обґрунтування інженерних шляхів їх подолання.

Аналіз існуючих методів

Історичний розвиток технологій відбору атмосферної електрики можна класифікувати за двома основними підходами:

1. Пасивні методи:

Функціонують за рахунок «ефекту вістря» - локального підсилення напруженості атмосферного електричного поля залежно від радіуса кривизни вістря колектора. В умовах «хорошої погоди» напруженість електричного поля атмосфери, як правило, є недостатньою для стійкої ініціації коронного розряду на колекторі, що обмежує величину струму.

2. Активні методи:

Для інтенсифікації іонізації повітря, збільшення ефективної площі колектора та формування локального провідного каналу, застосовуються такі підходи:

2.1. Радіаційні:

Використання радіоактивних ізотопів. Застосування даного підходу обмежено вимогами радіаційної безпеки та екологічними нормативами.

2.2. Термічні:

Використання полум'я. Такі методи потребують додаткового енергетичного підведення (спалювання палива), що ускладнює систему та знижує її енергетичну ефективність.

2.3. Лазерні:

Використання імпульсних лазерів. Незважаючи на теоретичну перспективність, є енергетично збитковими та конструктивно складними.

Порівняльну характеристику методів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика методів відбору атмосферної електрики

Метод	Реалізація	Переваги	Недоліки
Пасивний (Геометричний)	Анени, вістря, колектори з великою площею контакту	Конструктивна простота, нульове енергоспоживання	Залежність від висоти підйому колектора
Активний (Радіаційний)	Радіоактивні іонізатори	Стабільна іонізація, нижча залежність від висоти підйому колектора	Радіаційна небезпека
Активний (Термічний)	Полум'яні іонізатори	Інтенсивніша іонізація, нижча залежність від висоти підйому колектора	Витрати палива
Активний (Лазерний)	Імпульсні лазери	Відсутність фізичних провідників, висотних опор	Енергетична збитковість

Також простежується зміна парадигми: результати досліджень, що пояснили обмежені можливості отримання значних потужностей із глобального електричного кола, зумовили перехід від орієнтації на збір промислових значень потужності до використання атмосферної електрики для задач живлення малопотужних пристроїв [3].

Проте, навіть у масштабах малопотужних споживачів, активні системи стикаються з іншим обмеженням - проблемою енергетичного балансу.

Проблема енергетичного балансу

Аналіз існуючих рішень дозволяє сформулювати проблему енергетичного балансу систем збору атмосферної електрики. Для досягнення технологічно рентабельних значень струму необхідно створити зону підвищеної провідності повітря, наприклад шляхом ініціації коронного розряду. Проте генерація такого розряду часто потребує більше енергії, ніж може бути отримано з атмосферного електричного поля. Це робить такі системи енергетично збитковими. Відношення отриманої та витраченої потужності можна описати рівнянням енергетичного балансу (1):

$$P_n = P_h - P_i \quad (1)$$

де:

P_n - чиста видобута електрична потужність, доступна для корисного навантаження;

P_h - потужність, відібрана з ГЕК;

P_i - потужність, необхідна для підтримки активної іонізації;

У сталому режимі роботи система є енергетично доцільною лише за умови $P_n > 0$, тобто коли потужність, відібрана з ГЕК, перевищує витрати на підтримку процесів іонізації.

Перспективні підходи

Подолання цього обмеження можливе завдяки гібридному використанню різних джерел енергії. Зокрема, використання енергії вітру для приводу електростатичних генераторів, які посилюють напруженість поля на колекторі, може забезпечити ініціацію коронного розряду і зниження локального імпедансу повітряного проміжку без витрат зібраної атмосферної електричної енергії та без додаткового енергетичного підведення [4].

Висновок

Основним фактором, що обмежує ефективність систем збору атмосферної електрики, є надзвичайно мала густина струму провідності в приземному шарі атмосфери. Історичний розвиток технічних рішень демонструє перехід від пасивних методів до активних способів іонізації повітря, та зміну парадигми щодо обсягів відбору енергії. Перспективним напрямком є розробка гібридних систем, які використовують енергію навколишнього середовища для ефективного відбору атмосферної електрики за умов «хорошої погоди» з метою живлення малопотужних автономних споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rycroft, M. J. Some Recent Key Aspects of the DC Global Electric Circuit / M. J. Rycroft // Atmosphere. – 2025. – Vol. 16. – Art. no. 348. – DOI 10.3390/atmos16030348.
2. Potdar, S. S. The Atmospheric Global Electric Circuit: A Review / S. S. Potdar, D. Siingh // J. Ind. Geophys. Union. – 2024. – Vol. 28, no. 4. – P. 247–267.
3. Exploring the Limitations of Electric Field Energy Harvesting / J.-R. Riba, R. Arbat, Y. O. Ndong, M. Moreno-Eguilaz // Electronics. – 2023. – Vol. 12. – Art. no. 3626. – DOI 10.3390/electronics12173626.
4. Лисак, О. О. Підвищення ефективності систем відбору атмосферної електричної енергії шляхом активної аеродинамічної іонізації [Електронний ресурс] / О. О. Лисак, М. М. Мошноріз. – Електрон. текст. дані. – [Вінниця : ВНТУ, 2026]. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2026/paper/view/27429>. – Назва з екрана.

Лисак Олег Олександрович — аспірант групи G3-25a, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lysak.fyi@gmail.com

Науковий керівник: **Мошноріз Микола Миколайович** — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: moshnoriz@gmail.com

Lysak Oleh Oleksandrovych — postgraduate student of group G3-25a, Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lysak.fyi@gmail.com

Supervisor: Moshnoriz Mykola Mykolaiovych — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: moshnoriz@gmail.com