

## ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИЙ МІЖПЛАНЕТНИЙ ТРАНСПОРТ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*У статті досліджено проблему техногенного впливу традиційних ракетних запусків на стан озонового шару та глобальні кліматичні процеси в умовах стрімкого зростання космічної індустрії. Проаналізовано екологічні ризики, пов'язані з викидами сажі, оксидів алюмінію та водяної пари у високі шари атмосфери. Обґрунтовано перехід до нової технологічної парадигми — концепції «Aetheria Interplanetary», яка передбачає відмову від хімічної тяги на користь наземних електромагнітних та кінетичних систем розгону, що працюють на відновлюваній енергії. Доведено ефективність використання сонячно-теплових рушіїв із водою як робочим тілом для міжпланетного транзиту. Результати підтверджують, що впровадження запропонованої архітектури дозволяє знизити викиди в стратосферу на 90–100%, радикально зменшити вартість виведення вантажів та забезпечити екологічну безпеку міжпланетної логістики.*

**Ключові слова:** міжпланетний транспорт, екологічна безпека, електромагнітний запуск, сонячно-тепловий рушій, озоновий шар, сталий розвиток космосу.

### **Abstract**

*The article investigates the problem of the man-made impact of traditional rocket launches on the state of the ozone layer and global climate processes in the context of the rapid growth of the space industry. The environmental risks associated with emissions of soot, aluminum oxides and water vapor into the high layers of the atmosphere are analyzed. The transition to a new technological paradigm is justified - the concept of "Aetheria Interplanetary", which involves the rejection of chemical thrust in favor of ground-based electromagnetic and kinetic acceleration systems operating on renewable energy. The effectiveness of using solar-thermal engines with water as a working fluid for interplanetary transit is proven. The results confirm that the implementation of the proposed architecture allows reducing emissions into the stratosphere by 90–100%, radically reducing the cost of cargo removal and ensuring the environmental safety of interplanetary logistics.*

**Keywords:** interplanetary transport, environmental safety, electromagnetic launch, solar thermal propulsion, ozone layer, sustainable development of space.

### **Вступ**

Сучасна глобальна космічна індустрія перебуває на етапі безпрецедентного експоненційного зростання. Вона трансформується з нішевого державного сектору на колосальний комерційний ринок, обсяг якого, за прогнозами аналітиків, до 2040 року може сягнути 3,7 трильйона доларів США. Кількість щорічних успішних запусків стабільно зростає, а амбітні плани приватних компаній, таких як SpaceX із системою Starship, передбачають здійснення до тисячі польотів на рік. Однак таке стрімке масштабування діяльності загострює фундаментальне протиріччя між прагненням людства до міжпланетної експансії та необхідністю збереження екологічного балансу Землі. Традиційні хімічні ракетні двигуни, попри свою ефективність у створенні тяги, завдають значної шкоди атмосфері. Проблема стає критичною саме в контексті міжпланетної логістики, оскільки місії до Місяця чи Марса вимагають виведення надважких вантажів, що супроводжується викидом колосальних обсягів продуктів згоряння безпосередньо у стратосферу та мезосферу. Наукові дослідження вказують на те, що ракетні викиди є єдиним прямим антропогенним джерелом аерозольного забруднення на висотах понад 16 кілометрів. Викиди чорного вуглецю (сажі), наночастинок оксиду алюмінію та навіть водяної пари у вразливих шарах атмосфери призводять до нагрівання стратосфери, руйнування озонового шару та зміни моделей глобальної циркуляції. За умови збереження поточної технологічної парадигми, масове розгортання міжпланетного транспорту може мати катастрофічні екологічні наслідки. «Гострий біль» сучасної аерокосмічної галузі полягає у відсутності масштабованої та економічно рентабельної системи, здатної забезпечити високий вантажопотік без руйнування земної атмосфери. Ця стаття присвячена аналізу інноваційних підходів, що пропонують альтернативу традиційним методам. Зокрема, розглядається потенціал електромагнітного прискорення, кінетичних систем, використання екологічного біопалива та сонячно-теплової тяги. Метою роботи є обґрунтування концепції екологіч-

но нейтрального транспортного коридору, який би поєднував наземну «зелену» енергію для старту з використанням води як універсального та безпечного палива для міжпланетного транзиту. Створення такої архітектури дозволить розірвати замкнене коло «тиранії маси» та забезпечити сталий розвиток космічної економіки майбутнього.

### Результати дослідження

Результати дослідження демонструють, що сучасна аерокосмічна галузь опинилася в технологічній пастці, де експоненційне зростання кількості запусків входить у пряме протиріччя з глобальними екологічними цілями через критичний рівень викидів чорного вуглецю, оксидів алюмінію та водяної пари безпосередньо у стратосферу та мезосферу. Проведений аналіз діяльності інноваційних стартапів, таких як SpinLaunch, Auriga Space та Portal Space Systems, підтверджує, що найбільш перспективним шляхом подолання цієї кризи є повна декарбонізація першого етапу польоту шляхом переходу від хімічного спалювання палива до кінетичних та електромагнітних систем розгону. Використання наземних мас-драйверів (Mass Drivers) та вакуумних центрифуг дозволяє використовувати «зелену» електроенергію, зокрема геотермальну, для надання корисній вантажопідйомності початкового імпульсу, що скорочує масу необхідного палива на 70–90% і локалізує екологічний вплив виключно на рівні земної поверхні. Паралельно з цим, для етапу міжпланетного транзиту найбільш ефективною визнана модель сонячно-теплових рушіїв, де як єдине робоче тіло використовується дистильована вода, що нагрівається концентрованим сонячним випромінюванням до стану плазми. Така архітектура, втілена в концепції «Aetheria Interplanetary», дозволяє не лише досягти питомого імпульсу у 800+ секунд, що вдвічі перевищує показники кращих хімічних двигунів, а й створити повністю безпечний для озонового шару транспортний коридор. Впровадження цих технологій радикально змінює економіку космосу, трансформуючи дорогі одноразові місії у багаторазову енергоефективну логістичну мережу, де вода стає універсальним, відновлюваним та екологічно нейтральним ресурсом для забезпечення тривалої присутності людства у Сонячній системі без шкоди для екосистеми Землі.

### Висновки

Підсумовуючи проведені дослідження, можна стверджувати, що перехід до екологічно чистого міжпланетного транспорту є не лише етичною необхідністю для збереження озонового шару Землі, а й безальтернативним економічним кроком для сталого розвитку космічної галузі. Аналіз сучасних технологічних трендів підтверджує, що синергія наземних кінетичних та електромагнітних пускових систем із використанням «зеленої» енергії дозволяє практично повністю нівелювати викиди сажі та парникових газів у вразливих шарах атмосфери. Застосування концепції сонячно-теплових рушіїв на основі води як робочого тіла для міжпланетного транзиту забезпечує високу питому ефективність та безпеку, створюючи надійний транспортний коридор «Aetheria Interplanetary». Впровадження запропонованої архітектури, що базується на відмові від традиційної хімічної тяги на користь відновлюваних джерел енергії, дозволяє радикально знизити вартість логістики та відкриває шлях до повномасштабного освоєння ресурсів Сонячної системи без незворотної шкоди для екосистеми нашої рідної планети.

**Кватернюк Сергій Михайлович** — д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua.

**Кириценко Олена Олексіївна** — студент групи ЕКО-24б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kiritsenko21.04@gmail.com

**Павлова Юлія Олександрівна** — студентка групи ЕКО-24б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: pavlova03jyla@gmail.com

**Kvaterniuk Serhii Mykhailovych** — D.Sc., Professor, Professor of Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua.

**Kyrytsenko Olena Oleksiivna** — Student of the ECO-24b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kiritsenko21.04@gmail.com

**Pavlova Yulia Oleksandrivna** — Student of the ECO-24b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pavlova03jyla@gmail.com