УДК 004.094 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.1.2.20

М. Д. МИРНЕНКО
аспірант кафедри інформаційних технологій проектування
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
ORCID: 0000-0002-5777-9583

АНАЛІЗ ПРАВИЛ ЕКСПЛУАТАЦІЇ EVTOL

У статті досліджено технологічні та інфраструктурні аспекти електричних вертикально злітаючих і посадочних літальних апаратів (eVTOL), які є одним із ключових елементів розвитку міської повітряної мобільності. Акцент зроблено на аналізі основних технологічних викликів, таких як автономне управління, ефективність силових установок, розвиток акумуляторних технологій та підвищення аеродинамічних характеристик.

Особлива увага приділена інфраструктурним вимогам, включаючи створення вертопортів, інтеграцію eVTOL у транспортні вузли, розбудову мереж зарядних станцій та розвиток систем комунікації для забезпечення безпечної експлуатації. Оцінюється вплив новітніх матеріалів та енергетичних технологій на експлуатаційну ефективність eVTOL, а також використання цифрових двійників та штучного інтелекту для покращення управління повітряним рухом.

Досліджуються взаємозв'язки між інноваціями у силових установках, конструкційних рішеннях та оптимізацією міського повітряного простору. Розглядаються екологічні аспекти впровадження eVTOL, зокрема рівень шуму, енергоефективність та вплив акумуляторних технологій на довкілля.

Оцінено потенційні сценарії інтеграції eVTOL у міську транспортну мережу та перспективи їхньої експлуатації в умовах зростаючого попиту на альтернативні повітряні перевезення. Результати дослідження пропонують рекомендації щодо розвитку технологічних стандартів та вдосконалення інфраструктури, що сприятиме прискоренню впровадження eVTOL у сучасні міста, підвищенню безпеки та надійності експлуатації та мінімізації технологічних та операційних ризиків.

Ключові слова: *eVTOL (електричні вертикально злітаючі та посадочні літальні апарати), електричні літальні апарати, міська повітряна мобільність, автономне управління, акумуляторні технології, аеродинаміка, енергоефективність, вертопорти, зарядні станції, інфраструктура повітряного руху, цифрові двійники, штучний інтелект, комунікаційні системи, повітряний простір, інноваційні матеріали.*

M. D. MYRNENKO
Postgraduate Student at the Department of Design Information Technologies
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
ORCID: 0000-0002-5777-9583

ANALYSIS OF RULES FOR THE USE OF EVTOL

The article examines the technological and infrastructural aspects of electric vertical take-off and landing (eVTOL) aircraft, which are one of the key elements in the development of urban air mobility. The focus is placed on analyzing the main technological challenges, such as autonomous control, propulsion system efficiency, battery technology advancements, and improved aerodynamic characteristics.

Particular attention is given to infrastructural requirements, including the establishment of vertiports, integration of eVTOL into transportation hubs, expansion of charging station networks, and the development of communication systems to ensure safe operations. The study evaluates the impact of new materials and energy technologies on eVTOL operational efficiency, as well as the use of digital twins and artificial intelligence to enhance air traffic management.

The research explores the interconnections between propulsion system innovations, structural design solutions, and the optimization of urban airspace. Environmental aspects of eVTOL deployment are also considered, including noise levels, energy efficiency, and the impact of battery technology on the environment.

Potential scenarios for integrating eVTOL into urban transportation networks and their operational prospects in the context of growing demand for alternative air transportation are assessed. The study's findings provide recommendations for the development of technological standards and infrastructure improvements, which will facilitate the faster adoption of eVTOL in modern cities, enhance safety and operational reliability, and minimize technological and operational risks.

Key words: *eVTOL (electric vertical take-off and landing aircraft), electric aircraft, urban air mobility, autonomous control, battery technologies, aerodynamics, energy efficiency, vertiports, charging stations, air traffic infrastructure, digital twins, artificial intelligence, communication systems, airspace, innovative materials.*

Постановка проблеми

Розвиток електричних вертикально злітаючих і посадочних літальних апаратів (eVTOL) є одним із ключових напрямів майбутньої міської повітряної мобільності. Однак широкомасштабне впровадження цієї технології стикається з низкою викликів, що стосуються технологічних та інфраструктурних аспектів.

Однією з головних проблем є технологічні обмеження, зокрема ємність та ефективність акумуляторних систем. Поточний рівень розвитку акумуляторних технологій обмежує дальність польотів eVTOL, а також вимагає вдосконалення теплового менеджменту та систем швидкої зарядки, щоб забезпечити безперебійну експлуатацію. Високовольтні акумуляторні блоки потребують оптимізації ваги, оскільки їхня маса значно впливає на енергоефективність апаратів.

Ще одним викликом є інтеграція eVTOL у міську інфраструктуру. У густонаселених районах необхідно створити злітно-посадкові майданчики (вертопорти), які б забезпечували оптимальне розташування, безперебійне енергозабезпечення та швидку логістику пасажирських і вантажних перевезень. Важливо розробити автоматизовані зарядні станції, що підтримуватимуть швидку зарядку або заміну акумуляторів, мінімізуючи час простою літальних апаратів.

Критичним аспектом є системи комунікації та управління повітряним рухом. Необхідно розробити мережу зв'язку з низькою затримкою, що дозволить синхронізувати польоти eVTOL, координувати рух у міському повітряному просторі та уникати зіткнень. Також потрібні вдосконалені системи навігації, які забезпечуватимуть точне позиціонування та адаптацію маршрутів у реальному часі з урахуванням погодних умов і завантаженості транспортних коридорів.

Окрему увагу слід приділити екологічним аспектам, зокрема рівню шуму та впливу на довкілля. Хоча eVTOL зменшують викиди CO_2 у порівнянні з традиційними авіаційними транспортними засобами, виробництво, експлуатація та утилізація акумуляторних систем створюють нові виклики. Зокрема, потрібні ефективні методи переробки батарей, що дозволять мінімізувати екологічні ризики та витрати ресурсів.

Актуальність цієї проблематики зумовлена швидким розвитком технологій eVTOL та їхньою потенційною роллю у трансформації міського транспорту. Однак для повноцінного впровадження цих технологій необхідно вирішити ключові технологічні та інфраструктурні виклики, що впливають на безпеку, ефективність та економічну доцільність експлуатації eVTOL у сучасних містах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження правил експлуатації eVTOL охоплюють широкий спектр аспектів, зокрема сертифікацію, інтеграцію у повітряний простір та інфраструктурні вимоги. У наукових роботах розглядаються питання адаптації регуляторних стандартів, оцінки безпеки польотів та технічних аспектів функціонування eVTOL у міському середовищі.

Значна увага приділяється питанням сертифікації та відповідності вимогам авіаційних регуляторів. У дослідженні «Certification Considerations of eVTOL Aircraft» (2020) аналізуються вимоги Федерального управління авіації США (FAA) щодо сертифікації eVTOL. Автори наголошують, що для комерційного впровадження міської повітряної мобільності необхідно дотримуватись стандартів FAA Part 135, які передбачають суворі вимоги до безпеки, експлуатації та юридичних аспектів діяльності операторів eVTOL [1].

Окремі дослідження зосереджуються на регіональних підходах до впровадження eVTOL. Наприклад, у роботі «Operational Requirements Analysis for Electric Vertical Takeoff and Landing Vehicle in the Brazilian Regulatory Framework» (2023) аналізується можливість експлуатації eVTOL у Бразилії. Автори роблять висновок, що початкове впровадження eVTOL можливе без значних змін у чинному авіаційному законодавстві, що свідчить про гнучкість існуючих регуляторних систем щодо нових технологій [2].

Інтеграція eVTOL у загальний повітряний простір також є важливим напрямом досліджень. У статті «Integrating Electric Vertical Takeoff and Landing Aircraft into Public Airspace» (2022) представлено практичну структуру для інтеграції eVTOL відповідно до вимог льотної придатності FAA. Автори наголошують на необхідності чітких регуляторних процедур для забезпечення безпечного використання eVTOL у міських зонах, зокрема щодо їхньої координації з традиційним повітряним рухом [3].

Ключові аспекти інфраструктурної підтримки та виклики регулювання аналізуються у дослідженні «Infrastructural Requirements and Regulatory Challenges of a Sustainable Urban Air Mobility Ecosystem» (2023). Автори акцентують увагу на необхідності впровадження нових стандартів експлуатації eVTOL, створення спеціалізованих злітно-посадкових майданчиків та ефективної інтеграції з існуючими системами керування повітряним рухом [4].

Загалом, сучасні дослідження підкреслюють необхідність гармонізації регуляторних стандартів, впровадження адаптивних моделей сертифікації та створення інфраструктури для eVTOL. Вирішення цих питань сприятиме безпечному та ефективному впровадженню eVTOL у транспортну систему сучасних міст.

Формулювання мети дослідження

Метою цього дослідження є аналіз технологічних та інфраструктурних аспектів експлуатації eVTOL, а також визначення ключових викликів і перспектив їх впровадження у міську повітряну мобільність.

Дослідження зосереджується на вивченні технологічних інновацій, необхідних для розвитку eVTOL, включаючи автономне управління, акумуляторні системи, конструкційні матеріали та енергетичну ефективність.

Особлива увага приділяється підвищенню надійності силових установок, удосконаленню аеродинамічних характеристик та розробці інтелектуальних систем керування польотами, що забезпечують безпеку в міських умовах.

Окремим напрямом дослідження є інфраструктурне забезпечення eVTOL, включаючи розбудову вертопортів, зарядних станцій та інтеграцію в міські транспортні вузли. Аналізуються вимоги до повітряного руху, взаємодії з іншими видами транспорту та адаптації енергетичних мереж, необхідних для ефективного функціонування eVTOL.

Результатом дослідження є формулювання рекомендацій щодо розвитку технологічних стандартів та інфраструктурних рішень, що сприятимуть безпечному, ефективному та екологічно стійкому впровадженню eVTOL у транспортну систему сучасних міст.

Викладення основного матеріалу дослідження

1. Аналіз технологічних аспектів експлуатації eVTOL

Експлуатація електричних вертикально злітаючих і посадочних літальних апаратів (eVTOL) вимагає вирішення низки технологічних викликів, які включають аеродинаміку, автономне керування, енергетичні системи та інтеграцію з міською інфраструктурою. Оптимізація цих аспектів дозволяє підвищити ефективність, безпеку та екологічність eVTOL у сучасних транспортних системах.

Аеродинаміка та конструкційні особливості. Одним із головних викликів eVTOL є перехідний режим між вертикальним зльотом та горизонтальним польотом, що є критичним для стабільності та безпеки польоту. Більшість таких літальних апаратів поєднують роторну тягу з підйомною силою крил, що створює проблеми аеродинамічного балансу та керованості під час зміни режиму польоту.

Під час вертикального зльоту головне навантаження припадає на електричні ротори, які забезпечують підйомну силу, проте на етапі переходу в горизонтальний політ необхідно перерозподілити тягу на крила, щоб уникнути надмірного споживання енергії та забезпечити ефективність польоту. Це часто призводить до турбулентних потоків та нестабільності, що ускладнює керованість і потребує високоточних алгоритмів керування польотом для підтримання оптимального кута атаки та стабільності траєкторії [5]. Додатковою складністю є вплив аеродинамічних збурень, які виникають через взаємодію потоків від роторів та обтічних поверхонь крил. У випадку багатороторних конструкцій, такі ефекти можуть знижувати ефективність тяги та вимагати більшої потужності для стабілізації польоту.

Автономне керування та цифрові двійники. Стабільне керування eVTOL у складному міському середовищі, де висока щільність повітряного руху та велика кількість потенційних перешкод, вимагає передових технологій навігації та адаптивного управління. Використання штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє оптимізувати алгоритми польоту в реальному часі, враховуючи динамічні зміни умов повітряного простору. Одним із ключових рішень є впровадження цифрових двійників, які відтворюють поведінку літального апарата у віртуальному середовищі, що дає змогу прогнозувати потенційні ризики, вдосконалювати траєкторію польоту та покращувати взаємодію з системами керування повітряним рухом.

Енергетичні системи та ефективність акумуляторів. Ефективна експлуатація eVTOL безпосередньо залежить від ємності та продуктивності акумуляторних систем, оскільки вони визначають дальність польоту та загальну енергоефективність.

Використання високовольтних акумуляторів дозволяє збільшити запас ходу, проте водночас вимагає високотехнологічних систем керування енергією для підтримки стабільної роботи та безпеки. Для оптимізації цих показників необхідно зменшити вагу акумуляторів шляхом впровадження високощільних енергетичних комірок, а також використовувати інноваційні методи охолодження, що допоможуть запобігти перегріву та продовжити термін служби акумуляторних блоків [6].

2. Аналіз інфраструктурних аспектів експлуатації eVTOL

Експлуатація електричних літальних апаратів вертикального зльоту та посадки (eVTOL) вимагає ретельного планування та розвитку інфраструктури для забезпечення їх безпечної та ефективної інтеграції в міське середовище.

Вертопорти та злітно-посадкові майданчики. Для інтеграції eVTOL у міську повітряну мобільність необхідне розгортання спеціалізованих вертопортів, що забезпечуватимуть зліт, посадку, технічне обслуговування та зарядку літальних апаратів. Згідно з дослідженням «Urban Air Mobility: An Airport Perspective» (2023), розвиток аеропортової та міської інфраструктури відіграє критичну роль у впровадженні eVTOL у міський повітряний простір. Також зазначається, що існуючі гелікоптерні майданчики можуть бути адаптовані для потреб eVTOL, однак вони не завжди відповідають регуляторним та операційним вимогам, зокрема щодо систем зарядки, навігації та безпеки. Відповідно, необхідна розробка нових стандартів для будівництва спеціалізованих вертопортів із врахуванням інтеграції в транспортну систему міст та вимог керування повітряним рухом [7].

Енергетична інфраструктура. Ефективна експлуатація eVTOL значною мірою залежить від розвитку енергетичної інфраструктури, що забезпечує швидку зарядку або заміну акумуляторів. Оскільки eVTOL потребують високої потужності для вертикального зльоту та польоту, традиційні електромережі можуть бути недостатньо підготовленими для підтримки високої частоти заряджання таких літальних апаратів. Необхідний розвиток станцій швидкої зарядки, які дозволять скоротити час простою між польотами, а також впровадження технологій

автоматичної заміни акумуляторних блоків для забезпечення безперервної експлуатації. Також розглядається можливість інтеграції відновлюваних джерел енергії для підвищення екологічної стійкості експлуатації eVTOL. Наприклад, використання сонячних або вітрових електростанцій для живлення зарядних станцій може знизити залежність від централізованих мереж та зменшити вуглецевий слід технології. Ключовими викликами залишаються стандартизація зарядних портів, створення уніфікованих технологічних платформ для зарядки eVTOL різних виробників та розбудова розумних енергетичних мереж, які зможуть адаптуватися до динамічного попиту на електроенергію в аеропортах та міських хабах повітряної мобільності.

Комунікаційні та мережеві вимоги. Для безпечної та ефективної експлуатації eVTOL необхідні високонадійні системи зв'язку та передачі даних, які забезпечують оперативну координацію польотів. Це включає високошвидкісні канали зв'язку з низькою затримкою, що дозволяють передавати інформацію між літальними апаратами, наземними службами та системами управління повітряним рухом.

Ключові вимоги до мережевої інфраструктури включають:

1. Реалізацію 5G та майбутніх стандартів зв'язку, які забезпечать швидкий і безперебійний обмін даними між eVTOL та диспетчерськими центрами.
2. Створення децентралізованих комунікаційних мереж, що дозволяють eVTOL взаємодіяти один з одним у реальному часі, щоб уникнути зіткнень та оптимізувати маршрути польотів [8].

Інтеграцію штучного інтелекту для аналізу повітряного трафіку, що дозволить автоматично адаптувати маршрути з урахуванням погодних умов та динамічного повітряного простору. Для запобігання затримкам у передаванні критично важливих даних системи повинні працювати на основі хмарних обчислень та обчислень на периферії (Edge Computing), що дасть змогу зменшити час обробки даних і покращити оперативність ухвалення рішень. Також важливим є забезпечення кібербезпеки: eVTOL, що використовують бездротові технології, можуть бути вразливими до кібератак. Тому необхідно впроваджувати сучасні методи шифрування, автентифікації та захисту від перехоплення сигналів, щоб запобігти несанкціонованому втручанню у системи керування польотами. Розвиток таких технологій та уніфікація стандартів зв'язку для eVTOL є ключовими умовами для створення ефективної міської повітряної мобільності.

Моделювання та аналіз мережі. Для оптимального планування інфраструктури та операцій eVTOL важливим є використання симуляційних інструментів, що дозволяють моделювати різні сценарії експлуатації. Такі моделі дозволяють аналізувати:

1. Динаміку флоту eVTOL – оптимальну кількість літальних апаратів для різних маршрутів та рівень їх завантаженості.
2. Розташування вертопортів – вибір найкращих місць для побудови злітно-посадкових майданчиків з урахуванням попиту на повітряні перевезення, зручності пересадки та доступності енергетичної інфраструктури.
3. Часові графіки польотів – моделювання інтенсивності використання eVTOL у різні години доби та оцінка затримок у пікові періоди.
4. Вплив погодних умов – симуляція погодних змін та їхнього впливу на польоти, що дозволяє покращити заходи безпеки та підвищити надійність польотів.

Крім того, моделювання допомагає оцінити економічну ефективність системи міської повітряної мобільності. Це включає прогнозування витрат на експлуатацію, амортизацію eVTOL, необхідну кількість зарядних станцій та витрати на технічне обслуговування.Таким чином, моделювання та аналіз мережі eVTOL є критично важливими для забезпечення ефективної, безпечної та економічно вигідної експлуатації цих літальних апаратів у міських умовах.

Висновки

Дослідження технологічних та інфраструктурних аспектів експлуатації eVTOL дозволило визначити ключові виклики та перспективи їх впровадження у міську повітряну мобільність.

Ключові виклики. Одним із головних викликів є обмеження в розвитку акумуляторних технологій. Сучасні акумулятори не забезпечують достатньої дальності польотів без суттєвого збільшення маси апарата, що обмежує ефективність eVTOL у комерційних перевезеннях. Також існує потреба у вдосконаленні теплового менеджменту для уникнення перегріву акумуляторних систем та забезпечення стабільної роботи літальних апаратів.

Ще одним критичним аспектом є автономне керування. Для безпечної експлуатації eVTOL необхідно розробити надійні системи навігації, що включають реальний моніторинг повітряного руху, автоматичне уникнення перешкод та адаптацію маршрутів до мінливих умов. Це вимагає вдосконалення алгоритмів машинного навчання та покращення сенсорних систем, таких як LiDAR, оптичні камери та радарні технології.

Інфраструктурні виклики включають відсутність розвиненої мережі вертопортів та зарядних станцій. Поточні міські транспортні системи не пристосовані для інтеграції eVTOL, що потребує будівництва нових об'єктів та модернізації електромереж. Доступність швидких зарядних станцій або технологій автоматичної заміни акумуляторів стане визначальним фактором у впровадженні цих апаратів у масову експлуатацію.

Перспективи впровадження. Попри виклики, eVTOL мають значний потенціал для міських перевезень. Інноваційні матеріали та покращені аеродинамічні рішення сприятимуть зниженню ваги апаратів, що дозволить

покращити енергоефективність та збільшити тривалість польотів. Використання цифрових двійників у процесі розробки та тестування дозволить удосконалювати конструкції ще на етапі моделювання, підвищуючи їхню ефективність та безпеку.

Розвиток енергетичної інфраструктури, включаючи швидкі зарядні станції високої потужності та адаптацію міських електромереж до підвищених навантажень, сприятиме стабільній роботі eVTOL у міському середовищі. Також важливим фактором стане розбудова вертопортів, що інтегруватимуться у транспортні вузли міст та забезпечуватимуть зручну пересадку пасажирів.

Впровадження інтелектуальних систем управління повітряним рухом, що базуються на штучному інтелекті та мережевих технологіях, сприятиме безпечній координації польотів eVTOL. Це дозволить зменшити ризик зіткнень та оптимізувати маршрути, забезпечуючи ефективне використання повітряного простору.

Таким чином, успішна інтеграція eVTOL у міську повітряну мобільність залежатиме від розвитку нових технологій, створення адаптованої інфраструктури та вдосконалення систем управління повітряним рухом. Комплексний підхід до вирішення цих завдань забезпечить ефективне та безпечне використання eVTOL як нового виду міського транспорту.

Список використаної літератури

1. Yingkang Mou, Mei Jiang, Gang Zhu. Certification Considerations of eVTOL Aircraft [Електронний ресурс] // ICAS 2020. 2020. Режим доступу: https://icas.org/icas_archive/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_0231_paper.pdf

2. José Ricardo Agustinho, Carlos Alberto de Mattos Bento. Operational Requirements Analysis for Electric Vertical Takeoff and Landing Vehicle in the Brazilian Regulatory Framework [Електронний ресурс] // SciELO Brazil. 2022. Режим доступу: https://doi.org/10.1590/jatm.v14.1269

3. Raj Bridgelall, Shawn White, Denver Tolliver. Integrating Electric Vertical Takeoff and Landing Aircraft into Public Airspace: A Scenario Study [Електронний ресурс] // MDPI. 2023. Режим доступу: https://www.mdpi.com/2449920

4. Árpád Takács, Tamás Haidegger. Infrastructural Requirements and Regulatory Challenges of a Sustainable Urban Air Mobility Ecosystem [Електронний ресурс] // arXiv.org. 2023. Режим доступу: https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.01398

5. Akshay Mathur, Ella Atkins. Wind Tunnel Testing and Aerodynamic Characterization of a QuadPlane Uncrewed Aircraft System [Електронний ресурс] // arXiv.org. 2023. Режим доступу: https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.12316

6. Alexandre T.R. Guibert, Murtaza Bookwala, Ashley Cronk. Thermo-mechanical level-set topology optimization of a load carrying battery pack for electric aircraft [Електронний ресурс] // arXiv.org. 2023. Режим доступу: https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.16521

7. Jagannath Mallela, Paul Wheeler, Gaël Le Bris, Loup-Giang Nguyen. Urban Air Mobility: An Airport Perspective [Електронний ресурс] // National Academies Press Washington DC. 2023. Режим доступу: https://doi.org/10.17226/26899

8. Abdullah Abu Zaid, Baha Eddine Youcef Belmekki, Mohamed-Slim Alouini. eVTOL Communications and Networking in UAM: Requirements, Key Enablers, and Challenges [Електронний ресурс] // arXiv.org. 2021. Режим доступу: https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.08830

References

1. Yingkang Mou, Mei Jiang, Gang Zhu. (2020). *Certification Considerations of eVTOL Aircraft*. ICAS 2020. Retrieved from https://icas.org/icas_archive/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_0231_paper.pdf

2. José Ricardo Agustinho, Carlos Alberto de Mattos Bento. (2024). *Operational Requirements Analysis for Electric Vertical Takeoff and Landing Vehicle in the Brazilian Regulatory Framework*. SciELO Brazil. Retrieved from https://doi.org/10.1590/jatm.v14.1269

3. Raj Bridgelall, Shawn White, Denver Tolliver. (2023). *Integrating Electric Vertical Takeoff and Landing Aircraft into Public Airspace: A Scenario Study*. MDPI. Retrieved from https://www.mdpi.com/2449920

4. Árpád Takács, Tamás Haidegger. (2018). *Infrastructural Requirements and Regulatory Challenges of a Sustainable Urban Air Mobility Ecosystem*. arXiv.org. Retrieved from https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.01398

5. Akshay Mathur, Ella Atkins. (2023). *Wind Tunnel Testing and Aerodynamic Characterization of a QuadPlane Uncrewed Aircraft System*. arXiv. Retrieved from https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.12316

6. Alexandre T. R. Guibert, Murtaza Bookwala, Ashley Cronk. (2023). *Thermo-mechanical level-set topology optimization of a load carrying battery pack for electric aircraft*. arXiv. Retrieved from https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.16521

7. Jagannath Mallela, Paul Wheeler, Gaël Le Bris, Loup-Giang Nguyen. (2023). *Urban Air Mobility: An Airport Perspective*. National Academies Press Washington DC. Retrieved from https://doi.org/10.17226/26899

8. Abdullah Abu Zaid, Baha Eddine Youcef Belmekki, Mohamed-Slim Alouini. (2021). *eVTOL Communications and Networking in UAM: Requirements, Key Enablers, and Challenges*. arXiv. Retrieved from https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.08830