

doi: 10.32620/oikit.2026.107.01

УДК 006.02:629.73(4/9)

О. М. Литвинов, О. В. Чуприна,
В. О. Гребеніков, М. В. Чуприна

Особливості регуляторної бази сертифікації електричних літальних апаратів вертикального зльоту та посадки

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Робота присвячена дослідженню сучасних особливостей регуляторних баз до сертифікації електричних літальних апаратів вертикального зльоту та посадки (eVTOL), що формують основу розвитку передової повітряної мобільності. Метою дослідження є визначення ключових технічних, регуляторних та інфраструктурних викликів, які впливають на створення узгоджених міжнародних вимог до безпечної експлуатації таких апаратів. Наукову новизну роботи становить розкриття відмінностей між європейським ризик-орієнтованим підходом та американською моделлю індивідуалізованої сертифікації спеціального класу, що дає змогу ідентифікувати структурні причини фрагментації особливостей регуляторних баз. У роботі надається класифікація eVTOL за різними критеріями, а також визначаються основні об'єкти процедури підтвердження відповідності вимогам безпеки.

У статті здійснено аналіз регуляторних механізмів двох провідних авіаційних органів EASA та FAA, встановлено особливості застосування спеціальних умов для електричних літальних апаратів вертикального зльоту та посадки та визначено специфіку адаптації чинних стандартів до інноваційних електричних силових установок. Зосереджено увагу на вимогах до відмовостійкості, управління тепловим розгоном, архітектури резервування та взаємодії електронних систем, що є критичними для досягнення високого рівня безпеки польотів у міському середовищі. Розкрито проблеми узгодження вимог до захисту від зовнішніх впливів, зіткнень з птахами, а також інтеграції операторів і пілотів у єдину систему експлуатації.

У висновках встановлено, що сертифікація електричних літальних апаратів вертикального зльоту та посадки перебуває на етапі переходу від концептуального опрацювання до практичної стандартизації, а гармонізація міжнародних вимог потребує подальшого зближення методологій оцінювання ризиків та технічної надійності систем. Також визначено, що ключовим бар'єром залишаються технологічні обмеження нових електричних систем, які потребують подальших досліджень та оптимізації під вимоги глобальної авіаційної безпеки.

Ключові слова: сертифікація авіаційної техніки; електричні літальні апарати вертикального зльоту та посадки; міжнародні стандарти безпеки, контроль якості; передова повітряна мобільність.

Сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА) вертикального зльоту та посадки є революційним напрямком у цивільній авіації, поєднуючи гнучкість багатороторних дронів та ефективність літаків з нерухомим крилом, що дозволяє їм працювати без злітно-посадкових смуг, відкриваючи нові можливості для логістики, моніторингу та надзвичайних ситуацій, а світові виробники активно розвивають ці технології, демонструючи прогрес у гібридних аеродинамічних схемах та системах керування. Розглянуто сучасні безпілотні літальні апарати вертикального зльоту та посадки різних країн світу, цивільної авіації. Наведені загальні характеристики БПЛА вертикального зльоту та посадки, на прикладах сучасних розробок та демонстрації розвитку технологій, світовими виробниками, за останні кілька років.

Wingcopter 198 – це німецький повністю електричний безпілотний літальний апарат з вертикальним зльотом та посадкою (eVTOL), розроблений для

логістики та аерозйомки. Станом на 2026 він залишається флагманською моделлю компанії, адаптованою для роботи в складних погодних умовах (див. рис. 1).



Рис. 1. Безпілотний літальний апарат Wingcopter 198

Основні технічні характеристики Wingcopter 198:

- вантажопідйомність: до 6 кг (загальне навантаження);
- дальність польоту: до 75 км з вантажем 5 кг та до 110 км без вантажу або з мінімальним навантаженням;
- швидкість: крейсерська – близько 90-100 км/год, максимальна – до 144-150 км/год;
- час польоту: до 40-42 хвилин (у режимі літака);
- габарити: 198 x 152 x 65 см;
- максимальна злітна вага: 25 кг.

Ключові особливості:

- потрібна доставка (Triple-drop): Wingcopter 198 оснащений лебідковим механізмом, що дозволяє доставляти до трьох окремих посилок у різні точки за один виліт;

- технологія Tilt-rotor: запатентована система поворотних гвинтів дозволяє апарату поєднувати стабільність мультикоптера під час зльоту та ефективність літака в горизонтальному польоті;

- стійкість: витримує вітер швидкістю до 15 м/с (пориви до 20 м/с);

- масштабованість: Один оператор може одночасно керувати флотом з 10 дронів;

- призначення: доставка медичних товарів, експрес-посилок та проведення LiDAR сканування (моніторинг трубопроводів, ліній електропередач та рельєфу);

EHang EH216 – це повністю автономний електричний літальний апарат вертикального зльоту та посадки (eVTOL), призначений для перевезення двох пасажирів або вантажів на короткі відстані. Він став першим у світі пасажирським безпілотником, який отримав сертифікат типу та інші дозволи для комерційної експлуатації від Управління цивільної авіації Китаю (CAAC) (див. рис. 2).



Рис. 2. Електричний літальний апарат вертикального зльоту та посадки EHang EH216-S

Технічні характеристики:

- пасажиромісткість 2 пасажери;
- пілотування автономне (без пілота на борту);
- максимальне корисне навантаження 220 кг;
- крейсерська швидкість 100 км/год;
- максимальна швидкість 130 км/год;
- дальність польоту 35 км;
- час польоту 21 хвилина;
- максимальна висота польоту 3000 м;
- силова установка 16 електродвигунів та 16 пропелерів;
- час заряджання акумулятора ~2 години.

Особливості та застосування:

- автономний політ – апарат літає заздалегідь заданими маршрутами, а оператор на землі віддалено управляє флотом і може втрутитися в екстрені ситуації. Це усуває людський чинник у пілотуванні;

- безпека – конструкція включає безліч резервних систем (наприклад, розподілену електричну силову установку), а також комплекс датчиків і навігаційного обладнання для забезпечення безпеки польоту.

- застосування – основні сценарії використання включають міські авіаперевезення (аеротаксі), туристичні польоти, а також спеціалізовані місії, такі як гасіння пожеж у висотних будинках (модифікація EH216-F) та логістика (EH216-L).



Рис. 3. Joby Aviation S4 2.0 передсерійний прототип електричного літака вертикального зльоту та посадки

Joby Aviation S4 2.0 – це передсерійний прототип електричного літака вертикального зльоту та посадки (eVTOL), призначений для використання як аеротаксі (див. рис. 3).

Основні характеристики Joby Aviation S4 2.0:

- місткість: 1 пілот та 4 пасажери;
- максимальна швидкість: 322 км/год (200 миль на годину);
- дальність польоту: понад 240 км. (150 миль) на одному заряді;
- силова установка: шість високопродуктивних електродвигунів із шістьма похилими гвинтами, що працюють від літій-іонних акумуляторів із високою щільністю енергії;
- рівень шуму: значно тихіше за традиційні вертольоти: близько 65 дБА при зльоті/посадці і майже безшумний при польоті на висоті;
- безпека: система розподіленої електричної силової установки (DEP) забезпечує надмірність, що дозволяє безпечно приземлитися навіть у разі відмови одного або кількох двигунів або гвинтів;
- конструкція: фюзеляж з вуглецевого волокна, V-подібне хвостове оперення і колісне шасі, що забирається.

Joby Aviation S4 2.0 використовує технологію, що дозволяє йому злітати та приземлятися вертикально, а потім переходити в горизонтальний політ з використанням крила для більшої ефективності, що робить його перспективним рішенням для міської повітряної мобільності (UAM)

Електричні літальні апарати вертикального зльоту та посадки (electric vertical take off and landing) (далі – eVTOL) є принципово новою категорією авіаційних продуктів, відомою як Powered-Lift (апарати з рушійною установкою, що забезпечує підйом). Їхня сертифікація є одним із найбільш складних завдань в історії сучасної авіації, оскільки вони не вписуються в традиційні регуляторні рамки, розроблені для літаків або гвинтокрилів. Впровадження таких сучасних літальних апаратів є наріжним каменем концепції передової повітряної мобільності (Advanced Air Mobility, AAM), зокрема в її міському сегменті (Urban Air Mobility, UAM), оскільки основним призначенням міської повітряної мобільності є ефективне вирішення проблеми наземного трафіку в перевантажених містах шляхом використання повітряного простору для швидких перевезень [21].

З технічної точки зору, eVTOL характеризуються складною інтеграцією

технологій, включаючи електроавіацію, автономне керування, штучний інтелект та сучасні комунікаційні системи. Для ефективної експлуатації як "аеротаксі" ці апарати потребують спеціально визначених посадкових майданчиків або "вертипортів", що, своєю чергою, вимагає значного планування інфраструктури та розгляду екологічного впливу [23]. З регуляторної точки зору, авіаційна влада Європейського Союзу та США класифікують більшість eVTOL як літальні апарати категорії "Powered-Lift". Цей термін визнає їхню гібридну природу, оскільки вони функціонують як у режимі вертикального, так і горизонтального польоту, що не відповідає традиційним визначенням літака або гелікоптера [10, 16].

У наукових дослідженнях eVTOL класифікують за кількома основними критеріями: архітектурною конфігурацією, типом силової установки та категорією безпеки чи експлуатації.

За *архітектурною конфігурацією* у наукових джерелах виокремлюється три загальні архітектури eVTOL: мультиротор (використовують численні нерухомі ротори, розташовані по корпусу, для створення підйомної сили (тяги) та керування. Керування рухом досягається зміною відносної швидкості кожного ротора), векторна тяга (апарати, що використовують крила та рушії, які нахилиються, для переходу від вертикального зльоту/посадки до горизонтального крейсерського польоту. У польоті вперед подібні до гвинтового літака), та підйом+круїз (гібридна модель, що використовує окремі рушії/ротори (фіксовані) для вертикального підйому та окремі рушії/пропелери (часто нахилиючі) для горизонтального крейсерського польоту) [32, С. 45; 33, С. 3].

Залежно від *джерела живлення* eVTOL можна класифікувати на: (а) повністю електричні, містить один або більше електродвигунів на ротор, що живляться виключно від батарей (зазвичай Li-ion); (б) гібридно-електричні, що використовують комбінацію електричних двигунів, які живляться від батарей та генератора, що приводиться в рух газовою турбіною; (в) турбовальні, які використовують традиційні турбовальні двигуни, часто з подвійним резервуванням [7, 34].

Залежно від *регуляторних документів EASA або FAA за вимогами безпеки та експлуатації* eVTOL можна розподілити на дві групи.

(I) EASA через свій ключовий документ SC-VTOL-01, класифікує eVTOL за вимогами безпеки, пов'язаними з їхньою передбачуваною експлуатацією. Ця класифікація тісно пов'язана з рівнем ризику, який апарат становить для пасажирів та третіх сторін на землі:

(а) покращена категорія (наприклад, апарати, призначені для комерційних пасажирських перевезень або для операцій над перевантаженими зонами (зокрема, центрами міст тощо);

(б) базова категорія (наприклад, апарати, призначені для некомерційних операцій над перевантаженими районами або комерційних операцій над неперевантаженими районами. Також застосовується до апаратів з пасажиромісткістю 7 або більше для деяких вимог).

(II) За нормативними регламентами FAA eVTOL класифікуються відповідно до їх цільового призначення, що безпосередньо впливає на вимоги до продуктивності та безпеки:

(а) Inner-city (усередині міста) – такі eVTOL проводять операції безпосередньо над щільно забудованими районами, і вимагають найвищого рівня безпеки та найжорсткіших вимог до продуктивності;

(б) Around city (навколо міста) – операції поза центром міста; вимагає

середнього рівня безпеки;

(в) Intercity (між містами) – eVTOL проводять польоти у передмісті між містами, де щільність населення відносно низька; може мати нижчий рівень безпеки [33].

Об'єктом сертифікації eVTOL є авіаційна система. Підтвердити відповідність вимогам безпеки має не лише повітряне судно, а й усі його компоненти та пов'язані елементи, що забезпечують безпеку польотів та виконання конкретних завдань. Виходячи з цього, основні об'єкти сертифікації eVTOL поділимо на групи:

1. Конструктивні та технічні системи апарата:

- системи накопичення енергії та батареї – досліджується їхня пожежна безпека, термостійкість та надійність в експлуатаційних режимах;
- електричні силові установки – сертифікуються двигуни, пропелери, що забезпечують як підйомну силу, так і горизонтальний рух;
- системи резервування – досліджується здатність апарата зберігати керованість при відмові одного або декількох двигунів/батареї;
- авіоніка та програмне забезпечення – перевіряються системи управління польотом та автоматизації за стандартами DO-178C/DO-254.

2. Екологічні та експлуатаційні характеристики:

- перевіряється рівень шуму, оскільки існуючі норми для літаків та вертольотів не повною мірою відповідають профілям польоту eVTOL;
- супутна турбулентність – оцінюється вплив завихрень на інші повітряні судна в умовах щільної міської забудови;
- захист каналів зв'язку та систем управління від зовнішнього втручання.

3. Інфраструктура та середовище:

- вертипорти – об'єктом сертифікації є проектування та безпека спеціалізованих майданчиків для зльоту, посадки та швидкої зарядки;
- діяльність авіаперевізника (наприклад, за правилами FAA Part 135);
- сертифікуються також правила та процедури, за якими виконуються польоти, щоб гарантувати безпеку комерційних операцій аеротаксі;
- об'єктом сертифікації є також кваліфікація пілотів, які повинні отримати ліцензії для категорії Powered-Lift та специфічний рейтинг типу для конкретної моделі eVTOL.

Особливість сертифікації eVTOL обумовлена кількома критичними факторами. По-перше, ці апарати призначені для експлуатації в рамках концепції міської повітряної мобільності в умовах високої щільності забудови та потенційно перевантаженого, неконтрольованого повітряного простору. По-друге, eVTOL мають обмежені можливості усунення небезпеки під час зльоту та посадки через роботу на низьких висотах. По-третє, вони критично залежать від нових, високоенергетичних акумуляторних систем та складної архітектури розподіленої електричної рушійної установки, що вимагає вищого рівня автоматизованої надмірності порівняно з традиційними літальними апаратами [13, 32].

Саме питання сертифікації електричних літальних апаратів вертикального зльоту та посадки є одними з найбільш дискусійних у наукових дослідженнях. Зокрема, основна частка наукових робіт зосереджена на кількісній оцінці надійності силових установок eVTOL [5, 7, 8]; адаптації військових стандартів для оцінки льотних якостей [4, 19, 26]; порівняльному аналізу регуляторних інструментів FAA та EASA [6, 30], а також вирішенні нових викликів, пов'язаних з електричними системами та штучним інтелектом [25] тощо.

Для забезпечення безпеки польотів та комерційної життєздатності у глобальному масштабі ключові регулятори – Міжнародна організація цивільної авіації, Агентство авіаційної безпеки Європейського Союзу та Федеральне управління цивільної авіації США – активно співпрацюють. Вони зобов'язалися узгоджувати стандарти та процеси сертифікації для передової повітряної мобільності, підкреслюючи свою відданість безпеці як на внутрішньому, так і на міжнародному рівні [1, 18]. Крім того, FAA розширює свою співпрацю, беручи участь у мережі національних авіаційних органів (включаючи Велику Британію, Канаду, Австралію та Нову Зеландію) та підписавши декларації про співпрацю з Південною Кореєю та Японією.

Незважаючи на ці зусилля, глобальна інтеграція стикається з серйозним викликом: фрагментацією регуляторних вимог. Мрія про єдиний глобальний сертифікаційний стандарт залишається недосяжною через фундаментальні відмінності у ідеях регулювання. Так, EASA розробила свою рамкову структуру, виходячи з принципу пропорційності ризику, відповідно до якої рівень необхідного контролю та суворості вимог є прямо пропорційним ризику, пов'язаному з операцією. У той же час FAA традиційно застосовує бінарний підхід, хоча його рамки для безпілотних авіаційних систем розвиваються на основі існуючих принципів пілотованої авіації [20, 32]. Така розбіжність призводить до того, що виробники змушені проходити множинні, паралельні процеси сертифікації, що значно підвищує витрати та подовжує час виходу на ринок. Наприклад, спільна робота FAA та EASA над проблемою високої електричної потужності eVTOL виявила необхідність нових правил для адекватного розгляду ризиків електричної проводки, що демонструє, як нові технологічні виклики стають критичними точками для міжнародної гармонізації [31].

Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) у серпні 2025 р. підготувала робочий документ «Регуляторні проблеми та потреби гармонізації для сертифікації eVTOL у сфері передової повітряної мобільності», у якому зазначила, що встановлення глобальних стандартів має вирішальне значення для оптимізації сертифікації та її громадського визнання. Взаємне визнання первинних сертифікацій на ранніх етапах має вирішальне значення для зменшення регуляторного навантаження. Без гармонізації розгортання eVTOL стикається з проблемами, пов'язаними з масштабованістю, вартістю та міжнародною придатністю до експлуатації [35].

Стандарти Європейського агентства авіаційної безпеки.

EASA розробила спеціалізований, інтегрований документ – Спеціальні Умови для літальних апаратів вертикального зльоту та посадки (Special Condition SC-VTOL-01) [10, 11, 12]. Ці умови застосовні до апаратів, які використовують більше двох підйомних/тягових пристроїв (Distributed Lift/Thrust) для забезпечення підйому під час вертикального зльоту або посадки, що відрізняє їх від традиційних гвинтокрилів або літальних апаратів з фіксованим крилом. Документ стосується унікальних характеристик цих виробів і встановлює стандарти льотної придатності для видачі сертифікату типу та змін до цього сертифікату типу для вертикально злітно-посадкового повітряного судна для перевезення осіб малої категорії, що використовує підйомально-тягові агрегати для створення механічної підйомальної сили та керування.

SC-VTOL розрізняє дві категорії сертифікації, пов'язані з передбачуваним типом експлуатації для забезпечення пропорційності характеру та ризику конкретної діяльності VTOL: (1) базова сертифікація пов'язана з максимальною

кількістю пасажирських місць для заданої конфігурації; (2) розширена сертифікація обумовлена можливістю безперервного безпечного польоту та посадки. Це чітко розділення на категорії відображає філософію EASA щодо пропорційності ризику: чим вищий експлуатаційний ризик, тим вищий необхідний рівень відмовостійкості. Сертифікаційна база для проекту є набором найновіших вимог безпеки та захисту довкілля, чинних на дату подання заявки [3]. SC-VTOL-01 охоплює ключові технічні аспекти дизайну та безпеки. Однак не всі супутні питання інтеграції регламентуються цим документом. Наприклад, питання зв'язку між літальним апаратом та диспетчерськими службами, а також комунікації між повітряними суднами регулюються як для будь-якого іншого типу повітряного судна окремими правилами.

Так, німецька компанія Volocopter досягла значного прогресу з EASA для свого апарату VoloCity, пройшовши більшу частину необхідних аудитів та отримавши схвалення організації з проектування та виробництва. VoloCity – це електричний мультикоптер для міської аеромобільності, призначений для перевезення двох пасажирів (пілот + пасажир) на короткі відстані, оснащений 18 роторами, що працюють від 9 змінних літій-іонних батарей, максимальна злітна маса якого близько 1000 кг, дальністю польоту 20-35 км і швидкістю 100 км/г, відрізняючись низьким рівнем шуму.

VoloDrone – це важкий вантажний безпілотник від Volocopter, оснащений 18 роторами, електричним приводом та системою швидкої заміни батарей, здатний перевозити до 200 кг вантажу, виконувати польоти на швидкості до 110 км/год, а також застосовуватись для сільського господарства (обприскування). Основні характеристики включають діаметр 9,2 м, висоту 2,3 м, час польоту до 30 хвилин і можливість керування в автоматичному або ручному режимі з гнучкою системою кріплення для різних модулів (вантажні піддони, розпилювачі). Порівняння та характеристики зазначені на рис. 4.

EASA у 2020 році вперше сертифікувало повністю електричний літак Pipistrel Velis Electro (див. рис. 5), що стало важливим прецедентом для електричної авіації та дало цінні уроки для розробки правил для eVTOL. Літак отримав сертифікат CAA у Великій Британії у 2022 році та подальше звільнення від льотної придатності FAA LSA у 2024 році. Примітно, що у 2024 році електричний двигун Velis Electro став першим електричним двигуном, який отримав підтвердження сертифіката типу в Канаді.

Стандарти FAA.

Федеральна авіаційна адміністрація обрала дещо інший, хоча й схожий, шлях, використовуючи індивідуальний підхід для кожного заявника eVTOL відповідно до 14 Кодексу федеральних правил (CFR) § 21.17(b), який дозволяє сертифікувати літаки як "Special Class" (спеціальний клас) [14]. FAA детально оцінює концепцію експлуатації конкретного літального апарату, на основі чого встановлює спеціальні умови та/або застосовує відповідні частини існуючих правил: Part 23 (легкі літаки), Part 27 (малі вертольоти), Part 29 (великі вертольоти), Part 33 (двигуни), Part 35 (гвинти), а також нові, специфічні для eVTOL, вимоги, які стосуються розподіленої електричної тяги, систем керування польотом та акумуляторних батарей. Такий механізм дозволяє FAA встановлювати індивідуальні критерії льотної придатності для унікальних та нетрадиційних літальних апаратів Powered-Lift, адаптуючи існуючі частини 14 CFR.

	
<p>Основні технічні параметри VoloCity (2025):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Тип: Електричний мультикоптер вертикального зльоту та посадки (eVTOL). • Пасажиромісткість: 1 пілот + 1 пасажир (або 2 пасажирів), з можливістю перевезення багажу. • Двигуни/Ротори: 18 електричних двигунів, що приводять 18 пропелерів (діаметр 2,3 м). • Швидкість: Максимальна до 100-110 км/год, крейсерська близько 90 км/год. • Дальність: 35-65 км (залежно від умов). • Вага: Споряджена вага близько 700 кг, максимальна злітна вага до 900 кг. • Корисне навантаження: До 200 кг. • Енергосистема: Живиться від 9 знімних літій-іонних акумуляторних блоків (швидка заміна близько 5 хвилин). • Керування: Незалежний контроль швидкості кожного пропелера, що забезпечує стабільність, з планами автономного польоту в майбутньому. • Дизайн: Легкий корпус з вуглецевих композитів, конструкція балок роторів для зменшення шуму. • Шум: Рівень шуму під час зависання (ховерінгу) становить близько 65 дБ(А). 	<p>Основні технічні параметри Volodrone (2025):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Діаметр апарату: 9,2 метра (включаючи ротори). • Висота: 2,3 метри. • Силова установка: 18 незалежних електродвигунів та 18 пропелерів. • Діаметр одного ротора: близько 2,3 метра (за аналогією із пасажирськими моделями Volocopter). • Вантажопідйомність: до 200 кг (441 фунт). • Максимальна злітна вага: понад 600 кг (враховуючи корисне навантаження та масу батарей).

Рис. 4. VoloCity та Volodrone



Рис. 5. Електричний літак Pipistrel Velis Electro

Основні технічні характеристики:

- двигун: Pipistrel E-811 (57,6 кВт / 77 к.с.);
- акумулятори: Дві літій-іонні батареї з рідинним охолодженням загальною

ємністю 24,8 кВт·год;

- максимальна злітна маса (MTOW): 600 кг;
- корисне навантаження: 172 кг;
- крейсерська швидкість: ~166 км/год (90 вузлів);
- максимальна швидкість: 181 км/год (98 вузлів);
- тривалість польоту: До 50 хвилин (плюс резерв VFR);
- час заряджання: Близько 1 години 20 хвилин (з 35% до 95% заряду).

Габарити:

- розмах крила: 10,71 м;
- довжина: 6,47 м;
- висота: 1,90 м.

Ключові особливості:

- низький рівень шуму – усього 60 дБа, що дозволяє виконувати польоти поблизу населених пунктів;
- нульові викиди – повністю екологічна експлуатація;
- економічність – зменшення витрат на навчання пілотів до 70% порівняно з паливними аналогами.

Важливим кроком FAA стало затвердження правил «Модернізація спеціальної сертифікації льотної придатності». Це рішення дозволяє деяким eVTOL бути кваліфікованими як легкий спортивний літак, визнаючи та враховуючи сучасні технології, такі як розподілені електричні силові установки та електродистанційні системи керування [2]. Це створює два паралельні шляхи сертифікації: один для великих комерційних UAM-апаратів (Special Class G-1), а інший — для менших, особистих апаратів (LSA).

Таким чином, замість створення абсолютно нової регуляторної бази, FAA адаптує чинні правила до унікальних вимог кожного конкретного дизайну eVTOL. Вказаний підхід вбачається доволі гнучким, але вимагає від заявника та регулятора великих витрат часу на початкове визначення того, які саме вимоги є застосовними [6].

Наприклад, американська компанія Joby Aviation розробила електричний літак вертикального зльоту та посадки eVTOL S4, який вона має намір експлуатувати як службу аеротаксі. Вона увійшла у критичну фінальну фазу процесу сертифікації типу FAA, що передбачає початок інтенсивних інтеграційних тестів підсистем та випробування льотних характеристик апарату. Ця фаза є кульмінацією десятиліття інженерних розробок та уточнень сертифікаційних стратегій [29]. Очікується, що випробування за участі власних пілотів розпочнуться найближчим часом. Окрім тестування підсистем, цей етап також передбачає перевірку експлуатаційних процедур, перевірку інструкцій з технічного обслуговування, навчальної програми для пілотів, а також перевірку функціональності та надійності бортових систем, включаючи авіоніку, силову установку та системи резервування. Дані, зібрані під час таких випробувань, будуть використані FAA для прийняття остаточного рішення щодо видачі сертифіката типу для літака, схвалення, необхідного для комерційних операцій. Процес сертифікації вимагає демонстрації відповідності стандартам льотної придатності FAA та експлуатаційним вимогам до літаків eVTOL [29]. Ця модель eVTOL є електричним аеротаксі для 1 пілота і 4 пасажирів, має дальність польоту понад 240 км (150 миль), максимальну швидкість до 320 км/год (200 миль/год) і здатне до вертикального зльоту/посадки, використовуючи 6 пропелерів та електромотори, що робить його тихим. Приклад зазначений на рис. 6.

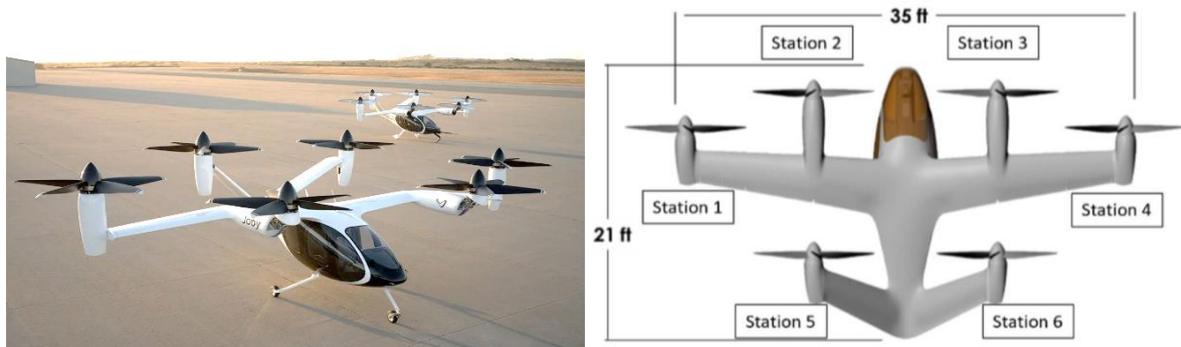


Рис. 6. Joby Aviation S4

Льотно-технічні характеристики

Згідно з даними evtol.news та авіаційних експертів, апарат має наступні показники:

- максимальна швидкість – 200 миль/год (322 км/год), при цьому під час випробувань була зафіксована рекордна швидкість 330 км/год;
- дальність польоту – від 161 км (100 миль) до 241 км (150 миль) на одному заряді, залежно від резервів енергії;
- максимальна висота польоту – до 15 000 футів (приблизно 4,5 км);
- рівень шуму – надзвичайно низький, близько 45 дБА під час польоту на висоті 500 м та 65 дБА під час зльоту/посадки, що в 100 разів тихіше за звичайний вертоліт.

Конструкція та силова установка:

- тип – електричний конвертоплан із шістьма поворотними гвинтами (tilt-rotors);
- двигуни – 6 високоефективних електродвигунів; чотири розташовані на крилах і два на V-подібному хвостовому оперенні;
- матеріали – фюзеляж виконаний з композитного вуглецевого волокна для зменшення ваги;
- шасі – триколісне, що прибирається в польоті для кращої аеродинаміки;
- габарити – розмах крил становить близько 10,7–11,9 м (35–39 футів), довжина близько 6,4–7,3 м (21–24 фути).

Масогабаритні показники (прототип). За даними oateai.com та авіаційних ресурсів, характеристики ваги є наступними:

- вага порожнього апарата приблизно 1950 кг (4 300 фунтів);
- максимальна злітна вага від 2177 кг (4800 фунтів) до 2404 кг (5300 фунтів);
- корисне навантаження до 453 кг (1000 фунтів).

Безпека та керування

Апарат використовує технологію розподіленої електричної тяги (DEP), яка забезпечує високу надійність: вихід з ладу одного або навіть двох двигунів не призводить до катастрофи, оскільки інші гвинти можуть безпечно посадити машину. Кабіна оснащена інтегрованою панеллю приладів Garmin G3000 для полегшення роботи пілота.

Інша компанія Archer Aviation також активно просувається у сфері сертифікації. Компанія досягла певних успіхів, зокрема, її апарат Midnight отримав сертифікати технічного обслуговування та ремонту, сертифікат авіаперевізника та експлуатанта. На сьогодні проект перейшов до наступної фази програми льотних випробувань [9]. Апарат розрахований на одного пілота й

чотирьох пасажирів, розвиває крейсерську швидкість близько 240 км/год і має дальність польоту до 160 км, має 12 роторів, живиться від шести незалежних літій-іонних батарей. Приклад зазначений на рис. 7.

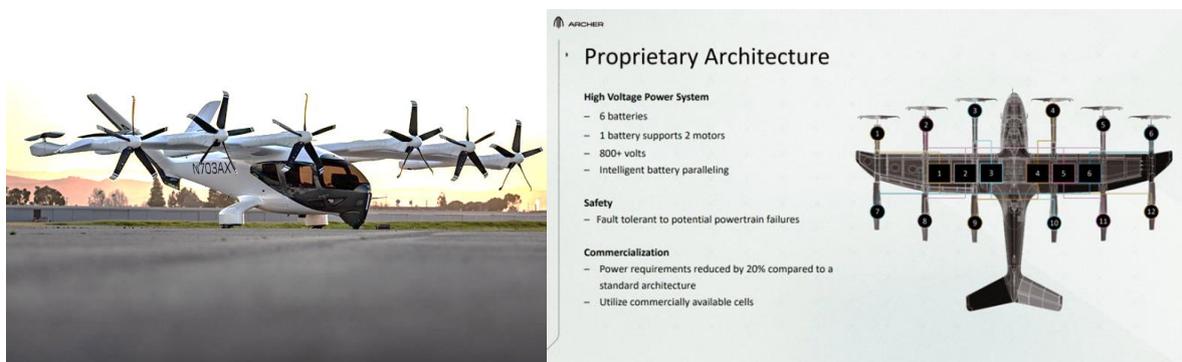


Рис 7. Archer Aviation Midnight

Технічні характеристики та продуктивність

Згідно з даними Archer Aviation та галузевих джерел, таких як Electric VTOL News, літак має наступні параметри:

- крейсерська швидкість: до 150 миль/год (~241 км/год);
- дальність польоту: до 100 миль (~161 км), проте модель оптимізована для послідовних рейсів по 20 миль (~32 км);
- корисне навантаження: понад 1000 фунтів (~454 кг);
- максимальна злітна вага: близько 6500–7000 фунтів (~2950–3175 кг);
- крейсерська висота: приблизно 2000 футів (~610 метрів);
- час заряджання: близько 10–12 хвилин між короткими рейсами.

Конструктивні особливості

• Силова установка: оснащений 12 електродвигунами та 12 пропелерами. Шість передніх пропелерів є поворотними (tilt-propellers) для переходу від вертикального зльоту до горизонтального польоту, а шість задніх — стаціонарні для вертикальної тяги.

- Живлення: використовує 6 незалежних акумуляторних блоків.
- Рівень шуму: під час польоту рівень шуму становить близько 45 дБА, що, за твердженням виробника, майже в 1000 разів тихіше за звичайний гелікоптер.
- Шасі: фіксоване триколісне шасі.
- Безпека: система розподіленої електричної тяги (DEP) забезпечує резервування: літак може безпечно приземлитися навіть у разі відмови кількох двигунів.

Технічна сертифікація eVTOL є значно складнішою, ніж традиційних літальних апаратів, через необхідність доведення надійності абсолютно нових електричних систем до надзвичайно високих авіаційних стандартів. Для сертифікації цивільних повітряних суден необхідно довести відповідність не лише вимогам до продуктивності, а й суворим стандартам безпеки [27].

Оскільки польотне керування eVTOL повністю залежить від електронних систем та електричної пропульсії, надійність системи керування польотом є критично важливою [21]. Для досягнення показника 10^{-9} необхідно впроваджувати надмірність (резервування) у всіх критичних компонентах, включаючи двигуни, системи керування поверхнями, навігацію та зв'язок [23]. Наукові дослідження зосереджуються на архітектурах, що включають потрійно-подвійну резервну

архітектуру, де три незалежні лінії блоків керування дублюються двома паралельними каналами силової електроніки та двигунів. Додатково впроваджуються механізми децентралізованого голосування та моніторингу для підвищення загальної безпеки системи [22, 27]. Доведення цієї надійності вимагає не лише фізичного тестування (Hardware-In-the-Loop, HIL), але й використання кількісної модельної оцінки безпеки (Model-Based Safety Assessment, MBSA) [22]. Через новизну компонентів, розробники також стикаються з розбіжностями у стандартах розрахунку частоти відмов (наприклад, MIL-HDBK-217F проти Telcordia SR-332), що ускладнює визначення точних показників MTBF.

Системи зберігання енергії є унікальним викликом для eVTOL. Головною загрозою є тепловий розгін – неконтрольоване та швидке підвищення температури та тиску в літій-іонних батареях, спричинене, наприклад, перезарядженням, що може призвести до займання та пожежі [24]. Зважаючи на цю критичну небезпеку, EASA розробила спеціалізовані Методи Дотримання (MOC-3) до SC-VTOL-01, які повністю присвячені демонстрації адекватної мітгації умов теплового розгону для VTOL категорії "enhanced" [28]. Ці MOCs не замінюють інших тестів (наприклад, на доступну енергію, краш-стійкість або зовнішнє коротке замикання), але встановлюють обов'язкові протоколи для управління цим високоенергетичним ризиком. MOC-3 посилається на нові галузеві стандарти, такі як ED-289 ("Guidance on Determination of Accessible Energy in Battery Systems") та ED-312 ("Guidance on Determining Failure Modes in Lithium-Ion Cells") [12].

Ефективність електричної силової установки також залежить від технології двигунів та електронного контролю. eVTOL вимагають високої ефективності та щільності крутного моменту, що робить синхронні двигуни з постійними магнітами перспективним рішенням, але їх інтеграція має відповідати найсуворішим вимогам відмовостійкості [24].

Сертифікація eVTOL вимагає також дотримання вимог безпеки щодо зовнішніх фізичних та електромагнітних впливів, які можуть вивести з ладу електронно-керовані системи, наприклад, від прямих і непрямих ефектів ударів блискавок або стійкості до високоінтенсивних випромінюваних полів [15].

Також є складними вимоги до захисту від зіткнень із птахами через розподілену архітектуру двигунів. FAA встановила, що вимоги до захисту планера від зіткнення з птахом вагою 2.2 фунта є достатніми. Проте, існуючий стандарт для пропелерів/двигунів, встановлений у § 35.36 залишається незмінним [15]. Регуляторні підходи FAA та EASA до цього аспекту можуть відрізнятися, що створює додаткові нюанси для виробників, які прагнуть до подвійної сертифікації [6].

Сертифікація типу є лише одним із кроків. Повноцінне запровадження концепції передової повітряної мобільності вимагає паралельного створення операційної екосистеми, що включає підготовку персоналу та інтеграцію в існуючий повітряний простір. FAA визначила чіткі вимоги до сертифікатів пілотів для категорії "Powered-Lift". Щоб керувати таким апаратом, пілот повинен мати одну з наступних ліцензій: лінійний пілот транспорту, комерційний пілот або приватний пілот, кожен із відповідною категорією та кваліфікаційною відміткою для Powered-Lift [17]. Додаткові необхідні кваліфікації включають інструментальний рейтинг для Powered-Lift та кваліфікацію інструктора. Крім цього, процедура сертифікації типу передбачає не лише випробування самого

eVTOL, а й валідацію всіх супутніх операційних процедур: перевірку посібників з технічного обслуговування, навчальних програм для пілотів та підтвердження функціональності та надійності бортових систем в експлуатаційних умовах [16].

Узагальнено процес сертифікації проходить п'ять фаз, інформацію щодо наповнення яких відображено у таблиці.

Таблиця 1

	Фаза сертифікації	Основні дії
I	Визначення концепції та вимог	Подання заявки на сертифікацію; Визначення концепції експлуатації (місто, навколо міста, між містами). Ознайомлення регулятора з дизайном. Встановлення бази сертифікації (SC-VTOL-01 або Special Class). Попередній аналіз небезпек та визначення рівня безпеки.
II	Програма сертифікації	Розробка деталізованих планів сертифікації (структури, графіки, відповідальні). Узгодження прийнятних засобів дотримання (стандарти ASTM, специфічні МOC). Детальна оцінка безпеки системи, яка підтримує процес сертифікації.
III	Виконання, тестування, демонстрація	Проведення комплексного тестування компонентів і підсистем (теплове стримування батарей, структурні та електронні тести). Верифікація та валідація цифрових систем (DO-178C, DO-254). Авторизація типової інспекції. Офіційні льотні випробування. Перевірка посібників з технічного обслуговування та навчальних матеріалів для пілотів. Складання фінальних звітів після завершення тестування.
IV	Фінальна сертифікація та початок експлуатації	Видача сертифіката типу регулятором. Отримання виробничого дозволу (сертифікація виробничих процесів, щоб кожен серійний апарат був ідентичним затвердженому дизайну). Сертифікація оператора (наприклад, Part 135). Підготовка та ліцензування пілотів (Powered-Lift, Type Rating).
V	Тривалий моніторинг	Постійний моніторинг надійності в експлуатації. Виявлення нових ризиків та оновлення припущень. Внесення змін до конструкції, документації та процедур за вимогою регулятора. Підтримання відповідності протягом всього життєвого циклу апарата.

Сертифікація eVTOL в Україні регулюється Державною авіаційною службою України та має свою специфіку, зумовлену дією військового стану. На відміну від інших країн, жодних спеціальних нормативних документів щодо сертифікації цих апаратів не було ухвалено, отже процедура підтвердження відповідності eVTOL вимогам авіаційної безпеки має відбуватись згідно Авіаційних правил України Частина 21 «Сертифікація повітряних суден, пов'язаних з ними виробів, компонентів та обладнання, а також організацій розробника та виробника» АПУ-21.

Підсумовуючи вище викладене необхідно зазначити, що сертифікація eVTOL у світі характеризується відсутністю єдиного глобального стандарту та залежить від нормативних документів національних регуляторних органів

(наприклад, EASA, FAA тощо). Відсутність єдиної регламентації змушує виробників проходити багаторазові, паралельні процеси сертифікації, оскільки, наприклад, дозвіл, наданий FAA (США) не гарантує автоматичного дозволу в зоні дії EASA (ЄС). Вимоги до сертифікації залежать від категорії польотів та рівня пов'язаного з ними ризику. Наприклад, польоти в "сертифікованій категорії" (з високим рівнем ризику, наприклад, аеротаксі) вимагають суворого процесу, аналогічного пілотованій авіації, включаючи сертифікат типу та сертифікат льотної придатності. Регуляторні органи, зокрема EASA, розробляють спеціальні технічні умови для eVTOL, оскільки існуючі норми льотної придатності не завжди підходять для їх унікальних характеристик (гібридні силові установки, режими переходу між вертикальним та горизонтальним польотом). Таке становище потребує тісної взаємодії розробників з національною авіаційною владою для забезпечення безпечної інтеграції цих інноваційних апаратів у існуючий повітряний простір. Отже, міжнародний досвід демонструє перехід від відсутності регулювання до розробки гнучких, науково обґрунтованих стандартів, сфокусованих на безпеці та інноваційних технологіях, за активної участі регуляторів та виробників.

Список літератури:

1. Advanced Air Mobility. Air Taxis. Federal Aviation Administration. Available at: <https://www.faa.gov/air-taxis>
2. AIR ONE Set to Become First eVTOL Certified as Light Sport Aircraft Following FAA Approval of MOSAIC Rule. AIREv.aero. Available at: <https://www.airev.aero/post/air-one-set-to-become-first-evtol-certified-as-light-sport-aircraft-following-faa-approval-of-mosaic>
3. Aircraft certification. EASA – European Union. Available at: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/aircraft-products/aircraft-certification>
4. Altamirano, G., Foster, J. V., Malpica, C., & Schuet, S. (2022). Integrated Handling Qualities Safety Analysis For Conceptual Design of Urban Air Mobility Vehicles. AIAA AVIATION 2022 Forum (p. 4012). Available at: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220006169/downloads/AltamiranoEtAl_Aviation_2022_v3.pdf
5. Beiderman, A., Darmstadt, P. R., Dillard, C., & Silva, C. (2021, May). Hazard analysis failure modes, effects, and criticality analysis for NASA revolutionary vertical lift technology concept vehicles. Vertical Flight Society 77th Annual Forum. Available at: https://rotorcraft.arc.nasa.gov/Publications/files/77-2021-0287_Beiderman.pdf
6. Cardoso, S. H. S. B., Oliveira, M. V. R. D., & Godoy, J. R. S. (2022). eVTOL certification in FAA and EASA performance-based regulation environments: A bird strike study-case. Journal of Aerospace Technology and Management, 14, e2122. Available at: <https://www.scielo.br/j/atm/a/CzBYCyM7XzMMdwPsXNtRWKQ/?format=pdf&lang=en>
7. Darmstadt, P. R., Pathak, S., Chen, E., Mistry, M. P., Arkebauer, A., Beiderman, A., ... & Preator, R. (2021). Reliability and Safety Assessment of Urban Air Mobility Concept Vehicles. Available at: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210017188/downloads/1540_Boeing%20NASA%3ACR-20210017188_FINAL_013122.pdf
8. Darmstadt, P.R., Catanese, R., Beiderman, A., Dones, F., Chen, E., Mistry, M. Babie, B., Beckman, M., Preator, R. (2019, June). Hazards Analysis and Failure Modes and Effects Criticality Analysis (FMECA) of Four Concept Vehicle Propulsion

- Systems, NASA/CR-2019-220217. Available at:
<https://ntrs.nasa.gov/citations/20190026443>
9. Designing for safety and certification. Archer. Available at:
<https://archer.com/certification>
10. EASA SC-VTOL-01 Comment Response Document. Available at:
<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/SC-VTOL-01%20CRD.pdf>
11. EASA Special Condition SC-VTOL-01. Available at:
<https://www.easa.europa.eu/en/document-library/product-certification-consultations/special-condition-vtol>
12. EASA Third Publication of Means of Compliance with the Special Condition VTOL Doc. No: MOC-3 SC-VTOL Issue: 2 Date: 21 June 2023. Available at:
https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/MOC-3_SC-VTOL_-_Issue_2_-_21_Jun_2023_-_FINAL.pdf
13. eVTOL Certification for Urban Air Mobility – Afuzion. Available at:
<https://afuzion.com/evtol-certification/>
14. FAA 14 CFR Part 21 Certification Procedures For Products and Articles. Available at: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/part-21>
15. FAA 14 CFR Part 21 Airworthiness Criteria: Special Class Airworthiness Criteria for the Joby Aero, Inc. Model JAS4–1 Powered-Lift. Available at: <https://www.federalregister.gov/documents/2024/03/08/2024-04690/airworthiness-criteria-special-class-airworthiness-criteria-for-the-joby-aero-inc-model-jas4-1>
16. FAA 2120-AL72 Integration of Powered-Lift: Pilot Certification and Operations; Miscellaneous Amendments Related to Rotorcraft and Airplanes. Available at: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2120-AL72_Integration_Powered-Lift_Pilot_Certification_and_Operations_Miscellaneous_Amendments_Related_to_Rotorcraft_Airplanes_Final_Rule.pdf#page=1.51
17. FAA Powered Lift Part 194 SFAR Frequently Asked Questions (FAQ). Available at: <https://www.faa.gov/air-taxis/FAQ>
18. FAA Statement on eVTOL Aircraft Certification. Available at: <https://www.faa.gov/newsroom/faq-statement-evtol-aircraft-certification>
19. Feary, M. S., Kaneshige, J., Lombaerts, T., Shish, K., & Haworth, L. (2023, June). Evaluation of novel eVTOL aircraft automation concepts. *AIAA Aviation Forum and Exposition*. Available at: https://humanfactors.arc.nasa.gov/publications/Feary_AIAA_Eval_of_eVTOL_interfaces_final.pdf
20. Global Drone Certification: Navigating FAA, EASA & Int'l Standards - mtec.aero. Available at: <https://www.mtec.aero/post/global-drone-certification-faa-easa>
21. Han, X., Pei, C. (2025) Safety Assessment and Fault Tolerance in eVTOL Aircraft Flight Control System: Current Status and Challenges. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*. PP(99):1-13. Available at: https://www.researchgate.net/publication/391380786_Safety_Assessment_and_Fault_Tolerance_in_eVTOL_Aircraft_Flight_Control_System_Current_Status_and_Challenges
22. He, R., Holzapfel, F., Bröcker, J., Lai, Y., & Zhang, S. (2024). A Decentralized Voting and Monitoring Flight Control Actuation System for eVTOL Aircraft. *Aerospace*, 11(3), 195. <https://doi.org/10.3390/aerospace11030195>
23. High reliability auxiliary power system architectures in eVTOL Aircraft. *GAIA Converter*. Available at: <https://www.gaia-converter.com/high-reliability-auxiliary-power-system-architectures-in-evtol-aircraft/>
24. Hu, L., Yan, X., & Yuan, Y. (2025). Development and challenges of

autonomous electric vertical take-off and landing aircraft. *Heliyon*, 11(1). Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11699418/>

25. Jurado, R. D. A., Ye, X., Plaza, V. O., Suárez, M. Z., Moreno, F. P., & Valdés, R. M. A. (2024). An introduction to the current state of standardization and certification on military AI applications. *Journal of Air Transport Management*, 121, 102685. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699724001509?via%3Dihub>

26. Klyde, D. H., Schulze, P. C., Mitchell, D. G., Sizoo, D., Schaller, R., & McGuire, R. (2020). Mission task element development process: An approach to FAA handling qualities certification. *AIAA Aviation 2020 Forum* (p. 3285). Available at: https://www.systemstech.com/wp-content/uploads/2020/06/AIAA-2020-3285_HQTE-Development-Process.pdf

27. Ma, L., Ma, C., & Yang, J. (2025). Study on Certification-Driven Fault Detection Threshold Optimization for eVTOL Dual-Motor-Driven Rotor. *Aerospace*, 12(11), 973. Available at: <https://doi.org/10.3390/aerospace1211097>

28. Pereira, N. (2023). Lithium Battery Systems for Aerospace Applications: Technical Standard Order (TSO) Requirements and Minimum Performance Standards (MPS). Available at: https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/dah/lithium_batteries#page=1.00

29. Samson., B. (2025, November). Joby powers up first conforming eVTOL for systems tests. *Aerospace Testing International*. Available at: <https://www.aerospacetestinginternational.com/news/joby-powers-up-first-conforming-evtol-for-systems-tests.html>

30. Scott, B. (2022). Vertiports: Ready for Take-off ... And Landing. *Journal of Air Law and Commerce*, 87, 503. Available at: <https://scholar.smu.edu/jalc/vol87/iss3/6/>

31. Staff, VFS. (2024, July/August). EASA and FAA Advance eVTOL Guidance. Available at: <https://evtol.news/news/easa-and-faa-advance-evtol-guidance>

32. Погудіна, О.К., Сурмак, М.О., Попов, О. В. Аналіз методів проектування та виробництва літаків з електричним вертикальним зльотом і посадкою. *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології*. 2023. № 97. С. 44-56, <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/oikit/article/view/2166/2164>

33. Mou, Y., Jiang, M., & Zhu, G. (2021, September). Certification considerations of eVTOL aircraft. *In Proceedings of the 32nd Congress of International Council of the Aeronautical Sciences*, Shanghai, China. Available at: https://www.icas.org/icas_archive/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_0231_paper.pdf

34. Justin, C., Patel, S., Bouchard, E. D., Gladin, J., Verberne, J., Li, E., ... & Kufeld, R. M. (2021). Reliability and safety assessment of urban air mobility concept vehicles (No. GTRI Document No. D9015A001R2). Available at: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210017185/downloads/Kufeld%20CR%E2%80%939320210017185_Final_091521.pdf

35. ICAO Working Paper (2025) Regulatory Challenges and Harmonization Needs for Electricvertical Take-Off and Landing (eVTOL) Certification Inadvanced Air Mobility (A42-WP/500, August 25). Available at: https://www.icao.int/sites/default/files/Meetings/a42/Documents/WP/wp_500_en.pdf

36. Авіаційні правила України, Частина 21 «Сертифікація повітряних суден, пов'язаних з ними виробів, компонентів та обладнання, а також організацій розробника та виробника» АПУ-21(Part-21). Available at: https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2017/02/Aviatsijni-pravila-Ukrayini-APU-21Part-21_27_06_2019.pdf

References:

1. Advanced Air Mobility. Air Taxis. Federal Aviation Administration. Available at: <https://www.faa.gov/air-taxis>
2. AIR ONE Set to Become First eVTOL Certified as Light Sport Aircraft Following FAA Approval of MOSAIC Rule. AIREv.aero. Available at: <https://www.airev.aero/post/air-one-set-to-become-first-evtol-certified-as-light-sport-aircraft-following-faa-approval-of-mosaic>
3. Aircraft certification. EASA – European Union. Available at: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/aircraft-products/aircraft-certification>
4. Altamirano, G., Foster, J. V., Malpica, C., & Schuet, S. (2022). Integrated Handling Qualities Safety Analysis For Conceptual Design of Urban Air Mobility Vehicles. *AIAA AVIATION 2022 Forum* (p. 4012). Available at: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220006169/downloads/AltamiranoEtAl_Aviation_2022_v3.pdf
5. Beiderman, A., Darmstadt, P. R., Dillard, C., & Silva, C. (2021, May). Hazard analysis failure modes, effects, and criticality analysis for NASA revolutionary vertical lift technology concept vehicles. *Vertical Flight Society 77th Annual Forum*. Available at: https://rotorcraft.arc.nasa.gov/Publications/files/77-2021-0287_Beiderman.pdf
6. Cardoso, S. H. S. B., Oliveira, M. V. R. D., & Godoy, J. R. S. (2022). eVTOL certification in FAA and EASA performance-based regulation environments: A bird strike study-case. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 14, e2122. Available at: <https://www.scielo.br/ijatm/a/CzBYCyM7XzMMdwPsXNtRWKQ/?format=pdf&lang=en>
7. Darmstadt, P. R., Pathak, S., Chen, E., Mistry, M. P., Arkebauer, A., Beiderman, A., ... & Preator, R. (2021). Reliability and Safety Assessment of Urban Air Mobility Concept Vehicles. Available at: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210017188/downloads/1540_Boeing%20NASA%3ACR-20210017188_FINAL_013122.pdf
8. Darmstadt, P.R., Catanese, R., Beiderman, A., Dones, F., Chen, E., Mistry, M. Babie, B., Beckman, M., Preator, R. (2019, June). Hazards Analysis and Failure Modes and Effects Criticality Analysis (FMECA) of Four Concept Vehicle Propulsion Systems, NASA/CR-2019-220217. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20190026443>
9. Designing for safety and certification. *Archer*. Available at: <https://archer.com/certification>
10. EASA SC-VTOL-01 Comment Response Document. Available at: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/SC-VTOL-01%20CRD.pdf>
11. EASA Special Condition SC-VTOL-01. Available at: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/product-certification-consultations/special-condition-vtol>
12. EASA Third Publication of Means of Compliance with the Special Condition VTOL Doc. No: MOC-3 SC-VTOL Issue: 2 Date: 21 June 2023. Available at: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/MOC-3_SC-VTOL_-_Issue_2_-_21_Jun_2023_-_FINAL.pdf
13. eVTOL Certification for Urban Air Mobility – Afuzion. Available at: <https://afuzion.com/evtol-certification/>
14. FAA 14 CFR Part 21 Certification Procedures For Products and Articles. Available at: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/part-21>
15. FAA 14 CFR Part 21 Airworthiness Criteria: Special Class Airworthiness

Criteria for the Joby Aero, Inc. Model JAS4–1 Powered-Lift. Available at: <https://www.federalregister.gov/documents/2024/03/08/2024-04690/airworthiness-criteria-special-class-airworthiness-criteria-for-the-joby-aero-inc-model-jas4-1>

16. FAA 2120-AL72 Integration of Powered-Lift: Pilot Certification and Operations; Miscellaneous Amendments Related to Rotorcraft and Airplanes. Available at: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2120-AL72_Integration_Powered-Lift_Pilot_Certification_and_Operations_Miscellaneous_Amendments_Related_to_Rotorcraft_Airplanes_Final_Rule.pdf#page=1.51

17. FAA Powered Lift Part 194 SFAR Frequently Asked Questions (FAQ). Available at: <https://www.faa.gov/air-taxis/FAQ>

18. FAA Statement on eVTOL Aircraft Certification. Available at: <https://www.faa.gov/newsroom/faq-statement-evtol-aircraft-certification>

19. Feary, M. S., Kaneshige, J., Lombaerts, T., Shish, K., & Haworth, L. (2023, June). Evaluation of novel eVTOL aircraft automation concepts. *AIAA Aviation Forum and Exposition*. Available at: https://humanfactors.arc.nasa.gov/publications/Feary_AIAA_Eval_of_eVTOL_interfaces_final.pdf

20. Global Drone Certification: Navigating FAA, EASA & Int'l Standards - mtec.aero. Available at: <https://www.mtec.aero/post/global-drone-certification-faa-easa>

21. Han, X., Pei, C. (2025) Safety Assessment and Fault Tolerance in eVTOL Aircraft Flight Control System: Current Status and Challenges. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*. PP(99):1-13. Available at: https://www.researchgate.net/publication/391380786_Safety_Assessment_and_Fault_Tolerance_in_eVTOL_Aircraft_Flight_Control_System_Current_Status_and_Challenges

22. He, R., Holzapfel, F., Bröcker, J., Lai, Y., & Zhang, S. (2024). A Decentralized Voting and Monitoring Flight Control Actuation System for eVTOL Aircraft. *Aerospace*, 11(3), 195. <https://doi.org/10.3390/aerospace11030195>

23. High reliability auxiliary power system architectures in eVTOL Aircraft. *GAIA Converter*. Available at: <https://www.gaia-converter.com/high-reliability-auxiliary-power-system-architectures-in-evtol-aircraft/>

24. Hu, L., Yan, X., & Yuan, Y. (2025). Development and challenges of autonomous electric vertical take-off and landing aircraft. *Heliyon*, 11(1). Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11699418/>

25. Jurado, R. D. A., Ye, X., Plaza, V. O., Suárez, M. Z., Moreno, F. P., & Valdés, R. M. A. (2024). An introduction to the current state of standardization and certification on military AI applications. *Journal of Air Transport Management*, 121, 102685. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699724001509?via%3Dihub>

26. Klyde, D. H., Schulze, P. C., Mitchell, D. G., Sizoo, D., Schaller, R., & McGuire, R. (2020). Mission task element development process: An approach to FAA handling qualities certification. *AIAA Aviation 2020 Forum* (p. 3285). Available at: https://www.systemstech.com/wp-content/uploads/2020/06/AIAA-2020-3285_HQTE-Development-Process.pdf

27. Ma, L., Ma, C., & Yang, J. (2025). Study on Certification-Driven Fault Detection Threshold Optimization for eVTOL Dual-Motor-Driven Rotor. *Aerospace*, 12(11), 973. Available at: <https://doi.org/10.3390/aerospace1211097>

28. Pereira, N. (2023). Lithium Battery Systems for Aerospace Applications: Technical Standard Order (TSO) Requirements and Minimum Performance Standards (MPS). Available at: https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/

dah/lithium_batteries#page=1.00.

29. Samson, B. (2025, November). Joby powers up first conforming eVTOL for systems tests. *Aerospace Testing International*. Available at: <https://www.aerospacetestinginternational.com/news/joby-powers-up-first-conforming-evtol-for-systems-tests.html>

30. Scott, B. (2022). Vertiports: Ready for Take-off ... And Landing. *Journal of Air Law and Commerce*, 87, 503. Available at: <https://scholar.smu.edu/jalc/vol87/iss3/6/>

31. Staff, VFS. (2024, July/August). EASA and FAA Advance eVTOL Guidance. Available at: <https://evtol.news/news/easa-and-faa-advance-evtol-guidance>

32. Pohudina, O., Surmak, M., Popov, O. (2023). Analysis of Methods of Design and Production of Aircraft with Electric Vertical Take-Off and Landing. *Open Information and Computer Integrated Technologies*, 97, 44-56. Available at: <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/oikit/article/view/2166/2164> [in Ukrainian]

33. Mou, Y., Jiang, M., & Zhu, G. (2021, September). Certification considerations of eVTOL aircraft. In *Proceedings of the 32nd Congress of International Council of the Aeronautical Sciences*, Shanghai, China. Available at: https://www.icas.org/icas_archive/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_0231_paper.pdf

34. Justin, C., Patel, S., Bouchard, E. D., Gladin, J., Verberne, J., Li, E., ... & Kufeld, R. M. (2021). Reliability and safety assessment of urban air mobility concept vehicles (No. GTRI Document No. D9015A001R2). Available at: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210017185/downloads/Kufeld%20CR%E2%80%999320210017185%20Final%20091521.pdf>

35. ICAO Working Paper (2025) Regulatory Challenges and Harmonization Needs for Electricvertical Take-Off and Landing (eVTOL) Certification Inadvanced Air Mobility (A42-WP/500, August 25). Available at: https://www.icao.int/sites/default/files/Meetings/a42/Documents/WP/wp_500_en.pdf

36. Aviation Rules of Ukraine, Part 21 "Certification of Aircraft, Related Products, Components and Equipment, as well as Design and Manufacturing Organizations" APU-21(Part-21). Available at: https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2017/02/Aviatsijni-pravila-Ukrayini-APU-21Part-21_27_06_2019.pdf

Надійшла до редакції 14.01.2026, розглянута на редколегії 10.02.2026

Features of the regulatory framework for certification of electric vertical take-off and landing aircraft

The work is devoted to the study of modern features of the regulatory framework for the certification of electric vertical take-off and landing aircraft (eVTOL), which form the basis for the development of advanced air mobility. The purpose of the study is to identify key technical, regulatory and infrastructure challenges that affect the creation of coordinated international requirements for the safe operation of such aircraft. The scientific novelty of the work is the disclosure of differences between the European risk-based approach and the American model of individualized special class certification, which allows identifying structural reasons for the fragmentation of the features of the regulatory framework. The work provides a classification of eVTOL according to various criteria, and also identifies the main objects of the procedure for confirming compliance with safety requirements.

The article analyzes the regulatory mechanisms of the two leading aviation

authorities EASA and FAA, establishes the features of the application of special conditions for electric vertical take-off and landing aircraft, and identifies the specifics of adapting existing standards to innovative electric power plants. The focus is on the requirements for fault tolerance, thermal acceleration management, redundancy architecture, and electronic system interaction, which are critical for achieving a high level of flight safety in an urban environment. The problems of harmonizing requirements for protection against external influences, bird strikes, and the integration of operators and pilots into a single operating system are revealed.

The conclusions establish that the certification of electric vertical take-off and landing aircraft is in the transition stage from conceptual development to practical standardization, and the harmonization of international requirements requires further convergence of risk assessment methodologies and technical reliability of systems. It is also determined that the key barrier remains the technological limitations of new electrical systems, which require further research and optimization to meet the requirements of global aviation safety.

Keywords: aircraft certification; electric vertical take-off and landing (eVTOL); international safety standards; quality control; Advanced Air Mobility (AAM).

Відомості про авторів:

Литвинов Олексій Миколайович – доктор юридичних наук, виконуючий обов'язки ректора Національного аерокосмічного університету «ХАІ», Україна, ORCID: 0000-0003-2952-8258.

Чуприна Олексій В'ячеславович – кандидат юридичних наук, провідний інженер навчально-науково-виробничого центру CAD/CAM/CAE Національного аерокосмічного університету "ХАІ", Україна, e-mail: o.chupryna@khai.edu, ORCID: 0009-0009-4746-6004.

Гребеніков Вадим Олександрович – кандидат технічних наук, завідуючий лабораторією навчально-науково-виробничого центру CAD/CAM/CAE Національного аерокосмічного університету "ХАІ", Україна, e-mail: v.hrebenykov@khai.edu, ORCID: 0009-0003-5004-5493.

Чуприна Максим В'ячеславович – магістр права, провідний аудитор з сертифікації ISO 27001 Information security, cybersecurity and privacy protection - Information security management systems, ORCID: 0009-0002-6508-8042.

About the authors:

Oleksii LYTVYNOV – Doctor of Law, appointed Acting Rector National Aerospace University "KhAI", Ukraine, ORCID: 0000-0003-2952-8258.

Oleksii CHUPRYNA – PhD, Leading Engineer of the Educational, Scientific and Production Center CAD/CAM/CAE, Dep. 103 "Aircraft and Helicopter Design" National Aerospace University "KhAI", Ukraine, e-mail: o.chupryna@khai.edu, ORCID: 0009-0009-4746-6004.

Vadym HREBENYKOV – PhD, Head of the laboratory of the Educational, Scientific and Production Center CAD/CAM/CAE, Dep. 103 "Aircraft and Helicopter Design" National Aerospace University "KhAI", Ukraine, e-mail: v.hrebenykov@khai.edu, ORCID: 0009-0003-5004-5493.

Maksym CHUPRYNA – Master of Laws, Lead Certification Auditor Ukraine, ISO 27001 Information security, cybersecurity and privacy protection - Information security management systems e-mail: Chupryna.maksim@gmail.com, ORCID: 0009-0002-6508-8042.