

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЦИВІЛЬНОЇ ТА ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Б.Д. Халмурадов

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 263 «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»

**Тема: «Зменшення ризику третьої сторони для цивільного населення при експлуатації БПЛА (в мирний час)»**

Виконавець: студентка групи 412 ЦБ, Лагода Юлія Олександрівна

Керівник: к.т.н., доцент, Кажан Катерина Іванівна

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Козлітін О.О.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій  
Кафедра цивільної та промислової безпеки  
Спеціальність 263 «Цивільна безпека»  
Освітньо-професійна програма «Захист об'єктів критичної  
інфраструктури»

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Б.Д. Халмурадов

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ**

### **на виконання кваліфікаційної роботи (проєкту)**

Лагоди Юлії Олександрівни

1. Тема роботи: «Зменшення ризику третьої сторони для цивільного населення при експлуатації БПЛА (в мирний час)» затверджена наказом ректора від «26» квітня 2023 року № 566/ст.
2. Термін виконання роботи (проєкту): з 29.05.2023 р. по 23.06.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: методичні матеріали, літературні джерела за напрямом дослідження, нормативно-правові документи.
4. Зміст пояснювальної записки: управління та регулювання роботи БПЛА у міському середовищі у контексті сталого розвитку та техногенної безпеки, методи зниження ризику експлуатації БПЛА для цивільного населення, прогнозування та управління ризиком третьої сторони для БПЛА в межах системи міської повітряної мобільності
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки.

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Отримання завдання, пошук літературних джерел згідно теми, напрацювання методології роботи.	29.05.2023 31.05.2023	
2.	Огляд літературних джерел, міжнародних рекомендацій та законодавчих нормативно-правових актів, що регулюють управління ризиком третьої сторони під час експлуатації БПЛА.	31.05.2023 02.06.2023	
3.	Визначення завдань та розроблення плану виконання кваліфікаційної роботи. Складання літературного огляду за темою наукового дослідження. Розроблення методології роботи.	02.06.2023 05.06.2023	
4.	Розроблення методів зниження ризику експлуатації БПЛА для цивільного населення.	05.06.2023 07.06.2023	
5.	Оцінка методів зниження ризику експлуатації БПЛА для цивільного населення.	07.06.2023 09.06.2023	
6.	Формулювання висновків і рекомендацій.	09.06.2023 10.06.2023	
7.	Підготовка до доповіді та презентації кваліфікаційної роботи.	10.06.2023 21.06.2023	
8.	Оформлення кваліфікаційної роботи згідно вимогами наявних стандартів.	21.06.2023 22.06.2023	
9.	Захист кваліфікаційної роботи.	23.06.2023	

7. Дата видачі завдання: “29” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи (проєкту): \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Кажан К.І.

Завдання прийняла до виконання: \_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Лагода Ю.О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра «Зменшення ризику третьої сторони для цивільного населення при експлуатації БПЛА (в мирний час)»: 57 с., 13 рис., 3 табл., 9 дод., 39 джерел.

Об'єкт дослідження: ризик третьої сторони в умовах авіаційних подій з транспортними засобами БПЛА.

Мета роботи: оцінка ефективності заходів управління ризиком третьої сторони під час експлуатації БПЛА.

Методи дослідження: збір та аналіз інформації про БПЛА, методи математичного моделювання та прогнозування, методи синтезу (узагальнення інформації, систематизація тощо), елементи ймовірнісно-статистичних методів та методи геоінформаційних систем для відображення результатів моделювання для різних сценаріїв експлуатації.

Результати бакалаврської роботи рекомендується використовувати при проектуванні системи міської повітряної мобільності БПЛА та плануванні розвитку урбанізованих територій.

**РИЗИК ТРЕТЬОЇ СТОРОНИ, БПЛА, АВІАЦІЙНА ПОДІЯ, ЗОНА ГРОМАДСЬКОЇ БЕЗПЕКИ**

## ЗМІСТ

<b>УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ</b> .....	7
<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>Розділ 1. Управління та регулювання роботи БПЛА у міському середовищі у контексті сталого розвитку та техногенної безпеки</b> .....	11
1.1 Огляд БПЛА та їх застосування у міському середовищі.....	11
1.1.1 Визначення та класифікація БПЛА.....	11
1.1.2 Застосування БПЛА у міському середовищі.....	15
1.1.3 Переваги та виклики використання БПЛА у міському середовищі.....	16
1.2 Сталий розвиток та його значення у міському середовищі.....	17
1.3 Управління та регулювання роботи БПЛА у міському середовищі.....	18
1.3.1 Нормативно-правова база управління БПЛА.....	18
1.3.2 Поточні нормативні акти та рекомендації для операцій БПЛА в міських районах.....	19
<b>Розділ 2. Методи зниження ризику експлуатації БПЛА для цивільного населення</b> .....	22
2.1 Аналіз ризиків, пов'язаних з експлуатацією БПЛА для цивільного населення...	22
2.2 Переваги та додаткові джерела ризику для населення в урбанізованому середовищі.....	22
2.3. Встановлення зон громадської безпеки як захід управління ризиками третьої сторони при експлуатації БПЛА.....	25
2.4. Оцінка ризику третьої сторони в умовах авіаційних подій.....	27
2.4.1 Удосконалення методик прогнозування індивідуального ризику для транспортних засобів БПЛА.....	30
<b>Розділ 3. Прогнозування та управління ризиком третьої сторони для БПЛА в межах системи міської повітряної мобільності</b> .....	32
3.1 Парк повітряних суден БПЛА.....	32
3.2. Сценарії експлуатації засобів БПЛА .....	34
3.3. Розташування вертипортів.....	34

3.4 Маршрути руху та розробка місій.....	35
3.5. Результати прогнозування.....	37
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>40</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>43</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>46</b>

## УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

AAV – Autonomous Aerial Vehicle, автономний літальний апарат

EASA – European Aviation Safety Agency, Європейське агентство з авіаційної безпеки

EUROCONTROL – Європейська організація управління повітряним рухом

eVTOL – electric Vertical Take-Off and Landing, електричне повітряне судно з вертикальним зльотом та посадкою

FAA – Американська федеральна авіаційна адміністрація

FAI – Міжнародна федерація авіації

GPS – Global Positioning System, Система глобального позиціонування

ICAO – Міжнародна організація цивільної авіації

IR – індивідуальний ризик

ITU – Міжнародний союз телекомунікацій

NAA – National Aviation Authorities, Національне авіаційне управління

RPAS – Remotely Piloted Aircraft Systems, дистанційно пілотовані авіаційні системи

SC-VTOL – Short-Range Vertical Takeoff and Landing, вертикальний зліт і посадка малої категорії

SR – суспільний ризик

3PRisk – Third-Party Risk, ризик третьої сторони

UAM – Urban Air Mobility, міська повітряна мобільність

UAV – Unmanned Aerial Vehicle, безпілотний повітряний літальний апарат

VTOL – Vertical Takeoff and Landing, повітряне судно з вертикальним зльотом та посадкою

АП – авіаційна подія

БПЛА – безпілотний повітряний літальний апарат

ДАСУ – Державна авіаційна служба України

ЗГБ – зона громадської безпеки

ЗПО – злітно-посадкова операція

ПС – повітряне судно

## ВСТУП

Бурхливий розвиток нових технологій у сфері повітряних перевезень створює численні переваги для потенційних пасажирів та користувачів, але і додаткові ризики, які слід враховувати при проектуванні таких транспортних засобів, системи організації повітряного руху та правил безпеки: як для осіб, залучених безпосередньо у процес таких перевезень (пасажирів, операторів, обслуговуючий персонал тощо), так і для великої групи осіб, не залучених в процес транспортування та не зацікавлених у ньому – **третьій стороні** (населенню, що тимчасово перебуває чи мешкає в зоні аеропорту, злітно-посадкового майданчика; під траєкторією маршруту руху повітряного судна (ПС) тощо), яка потенційно може бути постраждалою в результаті авіаційної події (АП) та впливу цілої низки несприятливих техногенних чинників.

Загалом, конкретні заходи (такі як визначення зон громадської безпеки (ЗГБ) з обмеженим доступом для третьої сторони і з наміром захистити їх від АП) може бути досить важко реалізувати в щільно забудованих районах великих міст. Це означає, що прийнятний ризик третьої сторони має бути невід’ємним елементом цілей безпеки сертифікаційних специфікацій безпілотних літальних апаратів. З іншого боку, поточні сертифікаційні вимоги не містять жодних обмежень чи вимог щодо ризику третьої сторони. Це пов’язано з тим припущенням, що внутрішніх вимог до безпеки типу ПС має бути достатньо. Проте, досвід з аеропортами показав, що в умовах високої щільності злітно-посадкових операцій (ЗПО), необхідно вживати додаткові заходи щодо захисту населення для зниження індивідуального чи соціального ризику, пов’язаного з АП.

Сучасні концепти системи БПЛА передбачають достатньо інтенсивний рух транспортних засобів, що в межах щільної міської забудови може формувати неприйнятні рівні ризику та необхідність урахування зон громадської безпеки, а також взаємних планувальних обмежень території житлової та громадської забудови й повітряних транспортних вузлів (злітно-посадкових майданчиків, вертипортів тощо).



**Метою дослідження** є зменшення ризику третьої сторони для цивільного населення при експлуатації БПЛА (в мирний час).

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання:

- вивчено та проаналізовано огляд безпілотних повітряних апаратів (БПЛА) та їх застосування у міському середовищі, включаючи визначення та класифікацію БПЛА, переваги та виклики їх використання;
- досліджено поняття сталого розвитку та його значення у міському середовищі, а також розглянуто управління та регулювання роботи БПЛА у міському середовищі, нормативно-правову базу та поточні нормативні акти;
- проведено аналіз ризиків, пов'язаних з експлуатацією БПЛА для цивільного населення, зокрема в урбанізованому середовищі, і визначено додаткові джерела ризику;
- запропоновано встановлення зон громадської безпеки як захід управління ризиками третьої сторони при експлуатації безпілотних повітряних апаратів, а також удосконалення методики прогнозування індивідуального ризику для транспортних засобів;
- розглянуто парк повітряних суден БПЛА, сценарії їх експлуатації та розташування вертипортів у межах системи міської повітряної мобільності;
- сформовано експлуатаційні сценарії та прогнозовані рівні очікуваного ризику для досліджуваних сценаріїв на території щільної міської забудови;
- обґрунтовано розміри та межі зон громадської безпеки для досліджуваних сценаріїв та дані рекомендації щодо підвищення рівня безпеки для населення під час повітряних міських перевезень.

**Об'єктом дослідження** є ризик третьої сторони в умовах авіаційних подій з транспортними засобами БПЛА.

**Предметом дослідження** є експлуатація транспортних засобів системи БПЛА як джерела техногенних ризиків в умовах авіаційних подій.

У процесі написання роботи було використано такі методи дослідження як збір та аналіз інформації про АП і БПЛА, методи математичного моделювання та прогнозування, методи синтезу (узагальнення інформації, систематизація тощо) для

розроблення сценаріїв експлуатації системи БПЛА на прикладі щільної міської забудови м. Києва.

Серед спеціальних методів наукового дослідження було використано елементи ймовірно-статистичних методів – для оцінки ризику третьої сторони та методи геоінформаційних систем для відображення результатів моделювання для різних сценаріїв експлуатації.

Відмінність від отриманих раніше результатів полягає в удосконаленні існуючої моделі для прогнозування та моделювання ризику як навколо злітно-посадкових смуг, так і навколо вертипортів, або спеціально влаштованих злітно-посадкових майданчиків. Маршрути руху транспортних засобів та сценарії експлуатації було розроблено особисто авторкою.

Результати наукового дослідження апробовано на конференціях: у м. Дніпрі, (конференція «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства», квітень 2023, доповідь на тему «Регулювання використання дронів у міському середовищі: проблеми та шляхи вирішення»), м. Києві (конференція «АВІА-2023», квітень 2023, доповідь «Electric and hybrid aircraft in terms of noise reduction», матеріали у співавторстві) та у м. Кременчук (міжнародний конкурс студентських наукових робіт, червень 2023, наукова робота «Forecasting of third-party risk during aviation accidents with urban air mobility vehicles»).

Отримано акт впровадження наукових результатів дослідження у навчальний процес Національного авіаційного університету (Додаток І).

Прикладна цінність отриманих результатів наукової роботи полягає у необхідності оцінки ризику третьої сторони для новітніх видів транспорту системи БПЛА з метою запобігання аварій та катастроф з загрозами життю та здоров'ю населення, а також обґрунтуванні форми та розмірів зон громадської безпеки навколо злітно-посадкових майданчиків/вертипортів, а також уздовж маршрутів руху транспортних засобів системи БПЛА. Застосування результатів наукової роботи при проєктуванні системи міської повітряної мобільності БПЛА та плануванні розвитку урбанізованих територій дозволить відвернути надмірні загрози для населення та сприяти поширенню нових екологічно досконаліх видів міського транспорту.

# РОЗДІЛ 1. УПРАВЛІННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ РОБОТИ БПЛА У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ

## 1.1 Огляд БПЛА та їх застосування у міському середовищі

### 1.1.1 Визначення та класифікація БПЛА

Безпека є головною турботою громадськості, особливо коли в АП може бути залучена третя сторона, яка не брала участі в перевезеннях. Отже, мета зусиль авіаційної спільноти полягає в тому, щоб уникнути будь-якої шкоди третім сторонам у разі аварії та в кінцевому підсумку досягти нульового рівня аварій. Хоча ця мета ще не досягнута, цивільна авіація наблизилася до неї: 99,9999% комерційних рейсів проходить без аварій. Рівень аварій в авіації загального призначення продовжує бути значно вищим, ніж на комерційних рейсах, але все ще досягає 99,999 % безаварійності. Однак статистика мало що означає для тих, хто постраждав від невеликої кількості аварій, які трапляються, і реакція громадськості може мати значний вплив, окрім сприяння покращенню стандартів і процедур для експлуатації ПС, операторів і системи управління повітряним рухом.

Порівнюючи звичайні типи ПС та ПС UAM, слід відмітити, що транспортні засоби UAM досить різноманітні за своїми аеродинамічними, літно-технічними характеристиками, типом силової установки, застосуванням новітніх технологій, зовнішнім виглядом, а, отже, рівнем ризику аварійності. Для більшої кількості ПС UAM оцінки щодо ймовірності потрапляння в АП можуть бути визначені лише теоретично, оскільки вони перебувають на різних стадіях розробки та не отримали сертифікацію на тип ПС, а отже, масово не експлуатуються. В цьому випадку пропонується використовувати дані для звичайних типів ПС, схожих за типом силової установки/злітною масою або іншими літно-технічними характеристиками.

Технічно БПЛА – це транспортний засіб, що може рухатися без участі людини. Тобто яким можна дистанційно керувати або літати автономно, використовуючи керовані програмним забезпеченням плани польоту, які працюють у поєднанні з бортовими датчиками та системою глобального позиціонування (GPS).

Не дивно, що технологія міської повітряної мобільності (UAM) з року в рік здобуває все більшу популярність у різних сферах застосування, включаючи транспорт. Однак, для того, щоб безпілотники могли використовуватись безпечно й ефективно, необхідне належне управління та регулювання їх роботи. У цьому контексті, Європейське агентство з безпеки авіації (EASA) розробило класифікацію безпілотних літальних апаратів, яка відображає їхній потенційний рівень ризику для громадськості.



Рис. 1. Класифікація безпілотних літальних апаратів EASA [1].

Джерело <https://www.grupooneair.com/new-easa-drone-regulations/>

Відповідно до регламенту Європейського союзу 2019/947, який набув чинності з 31 грудня 2020 року, більшість цивільних безпілотних транспортних апаратів поділяються на три категорії, що враховують вагу дрона, його технічні характеристики та тип операції для якої він був створений.

Перша і найнижча за ризиком категорія – відкрита. Вона є основною для більшості комерційних безпілотних літальних апаратів. Оскільки відкрита категорія має широку вибірку застосування цивільних безпілотників, то для спрощення класифікації було запроваджено розподіл ще на три підкатегорії, які дають можливість точніше визначити тип операції та правила експлуатації для операторів БПЛА.

Безпілотники підкатегорії A1 мають максимальну злітну вагу 250 г і можуть літати в міських районах без будь-яких додаткових дозволів. Безпілотники A2 важать від 250 г до 2 кг і вимагають від операторів триматися на безпечній відстані від людей. Безпілотники A3 важать від 2 до 25 кг, тому їм заборонено літати над натовпом.

Наступна категорія – спеціальна. Вона охоплює безпілотні літальні апарати, що мають більш високий ризик в порівнянні з попередньою категорією цивільних дронів та мають максимальну вагу більше 25 кг. Такі безпілотники використовуються в комерційних і промислових цілях, здебільшого в аерофотозйомці та у пошуково-рятувальних операціях. Для цієї категорії обов'язковим є отримання дозволу від національного авіаційного управління (НАА) штату реєстрації.

Остання категорія безпілотних літальних апаратів – сертифікована. До неї входять безпілотники, призначені для використання в операціях з високим ризиком, таких як перевезення вантажів або людей. Ці безпілотники вимагають сертифікації EASA і повинні відповідати суворим стандартам і правилам безпеки. Тобто експлуатанту БПЛА знадобиться схвалення, видане компетентним органом, а дистанційний пілот повинен мати ліцензію. У довгостроковій перспективі передбачається, що рівень автоматизації дронів поступово зростатиме до наявності повністю автономних дронів без необхідності втручання віддаленого пілота.

Залежно від виду енергії розрізняють 100% електричні транспортні засоби (переважно застосовуються в системі UAM) та гібриди (більш тривалі відстані). Залежно від дизайну (рис.2) виділяють такі типи транспортних засобів UAM (зазвичай eVTOL): мультироторні (для коротких та точних переміщень), конвертиплани (ротори вертикального зльоту і нахилу), VTOL (повітряні судна з вертикальним зльотом і посадкою). Системи управління можуть бути двох типів: автономного управління (керування на землі або всередині літака) та дистанційна система управління.

З концепцією UAM пов'язані такі терміни як [2]: AAV (autonomous aerial vehicle) автономний літальний апарат, без пілота на борту, але, можливо, з пасажирами та багажем; UAV (unmanned aerial vehicle) безпілотний повітряний літальний апарат (БПЛА) або дрон – це особливий випадок AAV, коли на борту

відсутні пілот та пасажери; eVTOL (electric vertical takeoff and landing) електричне ПС з вертикальним зльотом на посадкою, що має електричну тягу і здатне злітати та приземлятися вертикально без потреби у довгій злітно-посадковій смугі.

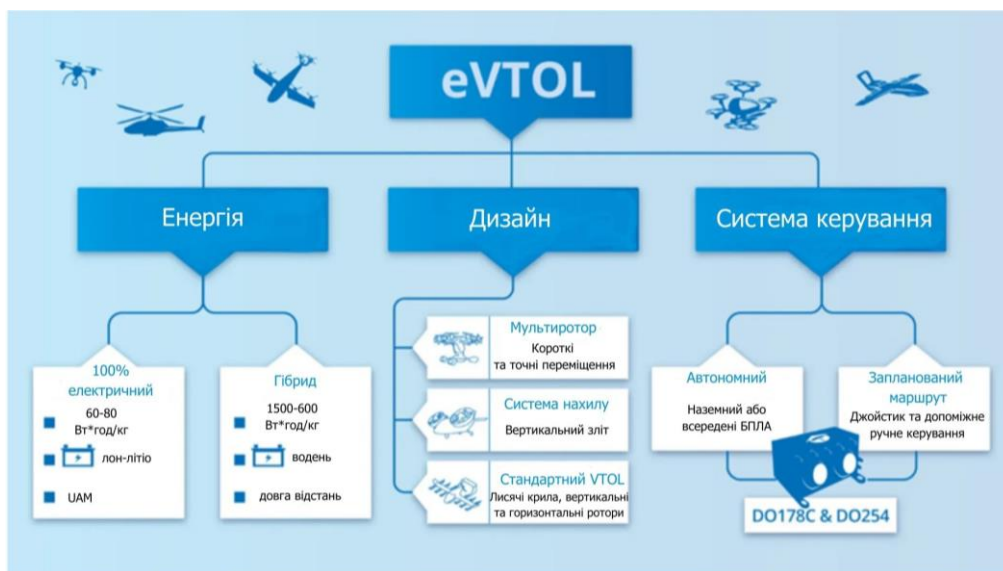


Рис. 2. Класифікація електричних транспортних засобів вертикального зльоту та посадки (eVTOL). Джерело <https://www.embention.com/news/types-of-evtol-and-urban-air-mobility-uam/>

ПС UAM часто не підпадають під існуючі класифікації звичайних типів літаків. На рівні міжнародних організацій поки відсутні єдині підходи до категоризації новітніх транспортних засобів. Водночас ICAO, EASA, EUROCONTROL використовують свої власні підходи до впорядкування даних про нові типи транспортних засобів UAM [3]. Зокрема, з метою упорядкування сертифікаційних вимог до типів ПС EASA запровадила Спеціальну умову для повітряних суден малої категорії з вертикальним зльотом та посадкою eVTOL [4]. За попередніми оцінками, не зважаючи на задоволення сертифікаційних вимог до безпеки польотів, такі чинники призводять до перевищення прийнятних рівнів ризику для третіх сторін [5]: концентрація маршрутів руху ПС поблизу аеропорту/аеродрому/вертипорту; велика кількість ЗПО за рік; більша імовірність аварій на фінальних етапах польоту (зліт та заходження на посадку); наближення міської забудови до меж аеропорту та висока щільність населення в високоурбанізованих середовищах.

Поточні специфікації сертифікації типу ПС не містять жодних конкретних вимог щодо забезпечення прийнятного ризику для третіх сторін. Це означає, що

передбачається, що внутрішня безпека сертифікованого типу ПС є достатньою для запобігання неприйнятному ризику для третіх сторін. Велика частка АП відбувається в незаселених або малонаселених районах. Незважаючи на це, за останні 10 років у всьому світі відбулося близько 150 аварій зі смертельними наслідками з комерційними літаками, з яких у 14 випадках постраждали треті сторони, що призвело до 185 загиблих на землі та 70 травм [6]. Це показує, що ризик третьої сторони не слід вважати незначним, зокрема в перевантажених районах поблизу аеропортів, де зосереджені потоки повітряного руху. Тобто, можна поставити під сумнів гіпотезу про те, що внутрішня безпека сертифікованого типу ПС забезпечує прийнятний рівень зовнішньої безпеки.

Таким чином, транспортні засоби UAM мають бути сертифіковані за тими ж критеріями та цілями безпеки, що й великі літаки чи гелікоптери. По суті, це означає, що ймовірність аварії зі смертельним результатом повинна бути принаймні  $<10^{-6}$  на годину польоту.

#### 1.1.2 Застосування БПЛА у міському середовищі

Міське середовище представляє унікальний набір викликів, які вимагають інноваційних та стійких рішень. БПЛА пропонують багатообіцяючу технологію для вирішення цих проблем завдяки своїм повітряним можливостям і різноманітності застосування.

**Моніторинг і нагляд.** Завдяки можливості повітряного спостереження, БПЛА здатні отримувати детальну інформацію про інфраструктуру, дорожню мережу та інші міські структури. Отримані дані можна використовувати для ефективного міського планування, обслуговування інфраструктури та управління містом.

**Екологічна складова.** За допомогою БПЛА можна збирати дані про якість повітря, рівні забруднення та параметри навколишнього середовища в режимі реального часу. Ці дані можуть бути використані для визначення гарячих точок забруднення, оцінки впливу міської діяльності та розробки ефективних стратегій для їх пом'якшення.

**Управління трафіком.** БПЛА мають можливість стежити за транспортним потоком, виявляти зони заторів та надавати оновлення в режимі реального часу

водіям, що дозволяє зменшити перевантаження на дорогах та покращити безпеку руху. Крім того, БПЛА можуть допомогти в управлінні аваріями, швидко реагуючи на них та мінімізуючи перебої в русі

**Міська доставка та логістика.** Безпілотні повітряні апарати пропонують швидшу та гнучкішу альтернативу для транспортування легких вантажів, медичних товарів та екстреної допомоги. БПЛА можуть орієнтуватися в перевантажених міських ландшафтах та досягати місць, куди важко дістатися традиційними засобами.

**Служби реагування на стихійні лиха та надзвичайні ситуації.** БПЛА мають потенціал для покращення реагування на катастрофи та екстрених служб у міських умовах. Оснащені тепловізійними камерами та датчиками, вони можуть допомогти в пошуково-рятувальних операціях, оцінці збитків і ситуаційній обізнаності.

**Майбутні перспективи.** Майбутнє БПЛА в міських умовах виглядає багатообіцяючим. Продовження досліджень, співпраця між академічними, промисловими та регуляторними органами, а також залучення громадськості є життєво важливими для максимального використання потенціалу БПЛА в міських умовах.

### 1.1.3 Переваги та виклики використання БПЛА у міському середовищі

#### **Переваги:**

1. Ефективність: БПЛА можуть збирати дані та здійснювати моніторинг в режимі реального часу, що дозволяє швидко реагувати на події та зменшувати загрози.

2. Гнучкість: БПЛА можуть досягати важкодоступних міських районів та місць, куди традиційно складно дістатися.

3. Економія часу та грошей: Використання БПЛА може забезпечити швидку та ефективну доставку товарів, управлінням транспортним потоком та моніторингом навколишнього середовища.

4. Безпека: Використання БПЛА допомагає уникнути ризику для людського життя, особливо в екстрених ситуаціях.



## **Виклики:**

1. Регулювання: Необхідно встановити правила та регулюючі органи, щоб забезпечити безпеку та захист конфіденційності при використанні БПЛА.

2. Технічні аспекти: Потрібно забезпечити надійність, безпеку та стійкість систем БПЛА при їх використанні в міському середовищі.

3. Залучення громадськості: Для успішної інтеграції БПЛА в міське середовище необхідно залучати громадські організації та науковців для забезпечення підтримки та взаєморозуміння.

4. Інтеграція з існуючою інфраструктурою: Для успішної роботи БПЛА необхідно забезпечити їх інтеграцію з існуючою міською інфраструктурою, такою як електрична мережа та системи безпеки.

### 1.2 Сталий розвиток та його значення у міському середовищі

У контексті БПЛА, сталий розвиток означає:

1. Екологічну відповідальність: Застосування БПЛА повинно здійснюватись з мінімальним впливом на природу та екосистеми.

2. Соціальну впевненість: Застосування БПЛА повинно сприяти безпеці, приватності та комфорту громадян.

3. Економічну ефективність: Застосування БПЛА повинно бути економічно доцільним та сприяти розвитку економіки.

4. Технічну безпеку: Застосування БПЛА повинно забезпечувати високий рівень технічної безпеки.

5. Забезпечення ефективного використання ресурсів: Застосування БПЛА повинно передбачати ефективне використання енергії, часу, матеріалів та інших ресурсів.

6. Врахування соціальних аспектів: Застосування БПЛА повинно враховувати соціальні потреби та інтереси громадян.

7. Регулювання та нормативне впровадження: Застосування БПЛА повинно мати чітку регуляторну базу та відповідні нормативні вимоги.

## 1.3 Управління та регулювання роботи БПЛА у міському середовищі

### 1.3.1 Нормативно-правова база управління БПЛА

Оскільки використання транспортних засобів УАМ, в тому числі безпілотних літальних апаратів, у міському середовищі стає все більш поширеним, зростає потреба в ефективному управлінні та регулюванні їх роботи. Це передбачає збалансування переваг технологій УАМ із потенційними ризиками та проблемами.

Як і у випадку з будь-якою новою технологією, відсутність чітких вимог до системи в нормативній базі для роботи УАМ у міському середовищі створює ряд викликів. Вони включають баланс між проблемами безпеки та потребою в інноваціях та економічному зростанні, управління за складними, часом дублювальними правилами на місцевому, національному та міжнародному рівнях, а також забезпечення того, щоб правила експлуатації відповідали технологіям, що швидко розвиваються. До того ж, існує чимало технологічних та експлуатаційних невизначеностей, які і сформуєть в майбутньому структуру та форму системи УАМ.

Міжнародні регулювальні органи та організації, які займаються управлінням та регулюванням операцій БПЛА, грають важливу роль у стандартизації та встановленні правил для безпечного та ефективного використання безпілотних літальних апаратів. До найвідоміших міжнародних регулювальних органів та організацій входять [7]:

1. Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO): спеціалізована агенція Організації Об'єднаних Націй, яка встановлює стандарти та рекомендації для цивільної авіації, включаючи БПЛА. ICAO розробляє міжнародні стандарти безпеки, правила польотів, процедури сертифікації та інші важливі аспекти управління БПЛА.

2. Міжнародна федерація авіації (FAI): FAI є світовим органом, що координує та регулює спортивну та рекреаційну авіацію, а також займається їх стандартизацією та регулюванням операцій БПЛА.

3. Європейське агентство з авіаційної безпеки (EASA): EASA є агентством Європейського Союзу, відповідальним за регулювання безпеки та нормативну базу авіаційної промисловості в Європі. Саме вони встановлюють правила та стандарти безпеки для БПЛА в європейському регіоні.

4. Американська федеральна авіаційна адміністрація (FAA): FAA є органом управління авіацією в Сполучених Штатах Америки, відповідальним за регулювання цивільної авіації. До його повноважень відносяться встановлення норм безпеки, правил та процедур для безпілотних літальних апаратів, включаючи їх операції в міських районах.

5. Європейська агенція з безпеки авіаційних джерел (EUROCONTROL): EUROCONTROL є міжурядовою організацією, яка координує та забезпечує безпеку та ефективність повітряного простору в Європі. Вони грають важливу роль у розробці стандартів та рекомендацій для безпілотних літальних апаратів та управління їх операціями.

6. Міжнародний союз телекомунікацій (ITU): ITU є спеціалізованим органом Організації Об'єднаних Націй, який займається регулюванням телекомунікаційного сектору, зокрема управління частотами та радіозв'язком, що безпосередньо стосується операцій БПЛА у міському секторі.

Вищезазначені міжнародні регулювальні органи та організації об'єднують зусилля для створення стандартів, правил та рекомендацій, спрямованих на забезпечення безпеки та ефективного управління операціями БПЛА в міських районах. Їх основна мета полягає у захисті інтересів громадськості та забезпеченні її безпеки під час використання цих технологій.

Щодо України, то до ключових регулювальних органів можна віднести Державну службу України з безпеки на транспорті та Державну авіаційну службу України, які беруть участь у розробці нормативно-правових актів, сертифікації та наданні дозволів на використання БПЛА.

1.3.2 Поточні нормативні акти та рекомендації для операцій БПЛА в міських районах

Документ ICAO 10019 - Посібник з дистанційно пілотованих авіаційних систем (RPAS): Цей посібник охоплює різні теми, пов'язані з польотами БПЛА, включаючи інтеграцію повітряного простору. Хоча він не зосереджується конкретно на міському середовищі, він надає вказівки щодо факторів, які слід враховувати при інтеграції

БПЛА в системи повітряного простору, які можуть бути застосовані і до міських районів [8].

Документ ІСАО 10020 - Посібник з управління рухом дистанційно пілотованих авіаційних систем (RPAS): У цьому посібнику спеціально розглядається розробка концепцій і процедур управління дорожнім рухом для операцій RPAS. Він включає міркування щодо інтеграції RPAS у невідокремлений повітряний простір, включаючи міські райони з пілотованими літаками [9].

Циркуляр 328 ІСАО - Безпілотні авіаційні системи (БПЛА): Цей циркуляр містить вказівки щодо регулювання та нагляду за операціями БПЛА, які можуть включати операції в міських умовах. Він охоплює такі теми, як класифікація БПЛА, експлуатаційні дозволи та льотна придатність [10].

Делегований регламент Комісії (ЄС) 2019/945: Цей регламент, відомий як Регламент ЄС про безпілотники, містить детальні правила експлуатації безпілотних літальних апаратів у різних категоріях. Хоча він спеціально не зосереджується на міському середовищі, він окреслює експлуатаційні обмеження, кваліфікацію дистанційних пілотів та вимоги до безпечної роботи, які застосовуються до всіх експлуатаційних умов, включаючи міські райони [11].

Виконавчий регламент Комісії (ЄС) 2019/947: Цей регламент, відомий як Імплементативний регламент ЄС щодо безпілотників, доповнює Регламент ЄС щодо дронів, надаючи більш конкретні вимоги до експлуатації дронів у конкретній категорії [12].

Висновок EASA 01/2018: Цей висновок стосується конкретної операційної категорії, яка охоплює більш складні операції, такі як операції, що проводяться в міських районах. Він містить рекомендації щодо безпечної інтеграції безпілотних літальних апаратів у населені райони, беручи до уваги такі фактори, як оцінка ризиків, пом'якшення наслідків та операційні гарантії [13].

Порядок використання цивільних повітряних дронів в Україні:

1. Повітряний кодекс України [14].
2. Постанова Кабінету Міністрів від 6 грудня 2017 року № 954 "Про затвердження Положення про використання повітряного простору України" [15].

3. Наказ Державної авіаційної служби України та Міністерства оборони України від 11 травня 2018 року № 430/210 "Про затвердження Авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору України» [16].

Починаючи з 24 лютого 2022 року, в Україні було запроваджено режим воєнного стану, згідно з Законом "Про правовий режим воєнного стану". З цього дня повітряний простір України закрито для цивільних користувачів повітряного простору, включаючи БПЛА. Рішення щодо можливості використання повітряного простору безпілотними літальними апаратами в конкретній області ухвалює Генеральний штаб Збройних Сил України [17].

У першому розділі було проведено детальне дослідження аспектів використання безпілотних повітряних апаратів (БПЛА) у міському середовищі з огляду на сталий розвиток та забезпечення техногенної безпеки. Визначено та класифіковано БПЛА, описано їх застосування в міському середовищі та наведено переваги та виклики, пов'язані з використанням БПЛА в цьому контексті. Також розглянуто поняття сталого розвитку та його значення у міському середовищі, зокрема при експлуатації БПЛА. Особлива увага приділена управлінню та регулюванню роботи БПЛА в міському середовищі. Розглянуто нормативно-правову базу управління БПЛА, а також поточні нормативні акти та рекомендації для операцій БПЛА в міських районах.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БПЛА ДЛЯ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ

2.1 Аналіз ризиків, пов'язаних з експлуатацією БПЛА для цивільного населення

1. Зіткнення з іншими повітряними транспортними засобами - існує ризик зіткнення БПЛА з літаками, гвинтокрилами чи іншими БПЛА під час польоту.

2. Падіння БПЛА - можливість втрати контролю, помилки в програмуванні або несправності обладнання можуть призвести до падіння БПЛА, що може спричинити матеріальні збитки та призвести до травм користувачів доріг або навколишнього середовища.

3. Несправності техніки - несправності в електронному та механічному обладнанні можуть призвести до аварійних ситуацій.

4. Крадіжка або хакерські атаки - БПЛА можуть стати об'єктом крадіжок, або можуть бути зламані хакерами для виконання незаконних дій.

5. Порушення приватності - використання БПЛА може порушувати приватність людей, особливо якщо вони використовуються для спостереження за людьми.

6. Втрата сигналу із пульта керування - втрата зв'язку між БПЛА та оператором може призвести до аварійних ситуацій.

2.2 Переваги та додаткові джерела ризику для населення в урбанізованому середовищі

Транспортні перевезення UAM можуть дозволити у великих містах витратити менше часу на транспортування та більше часу на продуктивну та особисту діяльність, відкриваючи нові виміри для швидких, гнучких, безпечних та економічних міських подорожей, які підвищать економічну життєздатність і створять ринкові можливості та нові робочі місця. Так, згідно з даними EASA [18] в Європейському регіоні до 2030 року 340 млн осіб будуть жити в містах з досвідом застосування UAM, а позитивний ефект буде відображатися в додаткових 90 тисячах робочих місць. До інших переваг слід додати швидкість (з 40 до 15 хвилин скоротиться середня подорож по місту), відсутність локальних викидів за умови

використання електричної тяги, гнучкість щодо оптимізації в контексті побудови маршруту із урахуванням багатьох чутливих чинників – енергетичних витрат, шуму, безпеки польотів, обмежених зон тощо.

Оскільки використання транспортних засобів UAM, в тому числі безпілотні літальні апарати (БПЛА), у міському середовищі стає все більш поширеним, зростає потреба в ефективному управлінні та регулюванні їх роботи. Це передбачає збалансування переваг технологій UAM із потенційними ризиками та проблемами.

Як і у випадку з будь-якою новою технологією, відсутність чітких вимог до системи в нормативній базі для роботи UAM у міському середовищі створює ряд викликів. Вони включають баланс між проблемами безпеки та потребою в інноваціях та економічному зростанні, управління за складними, часом дублювальними правилами на місцевому, національному та міжнародному рівнях, а також забезпечення того, щоб правила експлуатації відповідали технологіям, що швидко розвиваються. На додаток існує чимало технологічних та експлуатаційних невизначеностей, які і сформуєть в майбутньому структуру та форму системи UAM. У дослідженні NASA [19] щодо оперативної концепції UAM визначено такі системні обмеження /вимоги для розвитку системи UAM (рис.3):

1. розробка та виробництво транспортних засобів (дизайн транспортних засобів та інтеграція, виробництво та ланцюги постачальників, шум, погодно-незалежні ПС, доступність кабіни);
2. індивідуальне управління транспортним засобом і експлуатація (безпечне управління міськими польотами, сертифікація та схвалення діяльності, наземне обслуговування);
3. проєктування та впровадження системи повітряного простору (дизайн повітряного простору, експлуатаційні вимоги, правила та процедури, дизайн вертипортів UAM);
4. управління повітряним простором та флотом (безпечний повітряний простір, ефективні операції, управління парком ПС, прогнозування погоди);
5. інтеграція в громаду (громадське сприйняття, підтримуюча інфраструктура, експлуатаційна інтегрованість, місцеві регуляторні вимоги).

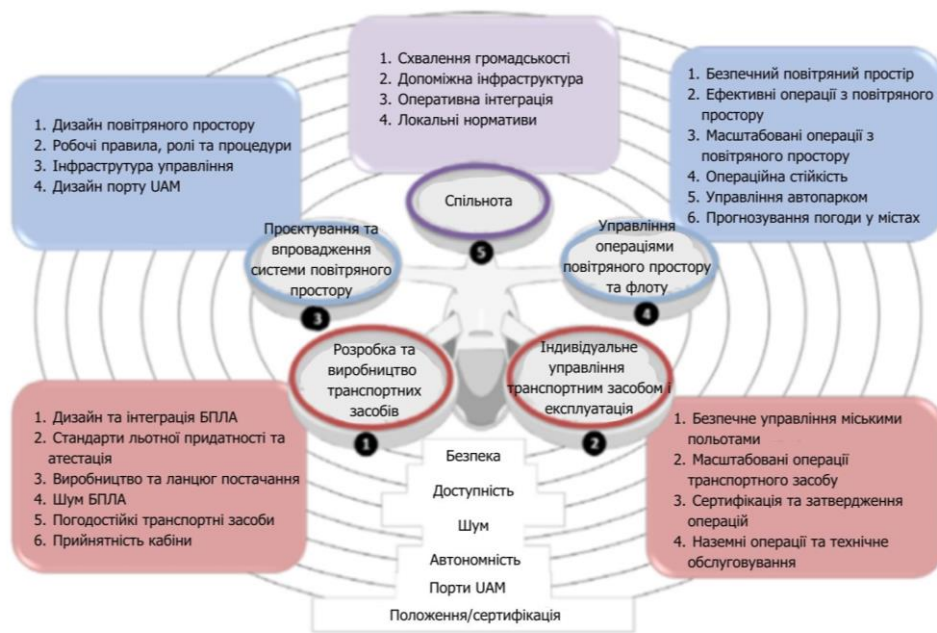


Рис. 3. Структура системи UAM та її обмеження

Таким чином, можна визначити цільові функції системи UAM як [20]: безпека, доступність, шум, автономність, улаштування вертипортів чи злітно-посадкових майданчиків, сертифікація та регуляторне управління. Дослідження суспільного сприйняття міської повітряної мобільності в Європі [21] показало, що питання безпеки UAM є одним з основних чинників для занепокоєння. Серед інших суттєвих техногенних чинників визначено: шум вздовж маршруту польоту та поблизу вертипорту (злітно-посадкового майданчика); візуальне забруднення; обмеження приватності; просторове виокремлення територій для нової інфраструктури; наближення транспортних засобів до житлових районів.

**Ризики, пов'язані з експлуатацією UAM для безпеки населення.** У багатьох країнах зафіксовано випадки, коли UAM (зокрема, БПЛА) ділять повітряний простір зі звичайними літаками, що збільшує ризик зіткнень у повітрі. За останні роки було кілька випадків майже зіткнень між безпілотниками та комерційними літаками. Наприклад, у 2018 році безпілотник пролетів на відстані 10 м від Airbus A320 із 137 пасажирами та членами екіпажу над аеропортом Хітроу [22]. Більшість звичайних ПС не оснащені системами для виявлення невеликих ПС, і експлуатанти UAM, або оператори БПЛА можуть не мати необхідної підготовки або обладнання для



моніторингу повітряного простору навколо них. Щоб зменшити ризик зіткнення, необхідно розробити концепцію інтеграції системи UAM в загальний повітряний простір (Додаток А), визначити жорсткіші правила експлуатації ПС, застосовувати обмеження висоти та швидкості безпілотників та використовувати транспондери або інші системи виявлення ПС тощо. Падіння транспортних засобів UAM на землю є визначальним ризиком для цивільного населення, природних та техногенних об'єктів на певній території [23]. Нині такі небезпеки є домінуючими для околиць аеропортів та злітно-посадкових майданчиків. АП можуть спричинити розливи токсичних речовин у навколишнє середовище, пожежі або вибухи, знищення матеріальних цінностей, прямі ушкодження, загибель людей, які живуть або перебувають біля місця падіння. Ризик цих негативних наслідків називається **ризиком третьої сторони** [24].

Існують дослідження [25-26], які стверджують, що операції UAM не можна порівнювати з комерційними операціями у великих аеропортах, а скоріше з операціями авіації загального призначення. Інші джерела [27], які стверджують, що ризик третьої сторони для авіації загального призначення не є статистично значущим. Вага літаків загальної авіації значно менша, ніж у комерційних літаків, і тому потенційна летальність значно менша. Також можна припустити, що літаки загальної авіації загалом намагаються уникати польотів над густонаселеними районами міст, селищ чи селищ або над скупченням людей просто неба. І якщо вони це роблять, вони повинні враховувати додаткові запаси безпеки, як того вимагають правила польотів [28]. Тим не менш, все ще трапляється, що люди на землі гинуть від літаків загальної авіації. У будь-якому випадку, у багатьох країнах (Нідерланди, Великобританія, Італія та ін.) визнається, що загальна авіація також може становити певний ризик для третіх сторін, і тому вимоги щодо зонування громадської безпеки застосовуються не лише до великих комерційних аеропортів, але й до менших аеродромів загальної, вертодромів та злітно-посадкових майданчиків.

2.3. Встановлення зон громадської безпеки як захід управління ризиками третьої сторони при експлуатації UAM

Відповідно до ст. 84 Повітряного кодексу України [29] захист населення від шкідливого впливу ризику АП як одного з техногенних факторів під час експлуатації ПС повинен забезпечуватися за рахунок просторового зонування території навколо аеропорту, відповідного її планування і забудови. Концепція ризику третьої сторони постає однією із центральних, поряд з питаннями безпеки польотів та авіаційної безпеки, в рекомендаціях ІКАО. Зокрема, питання безпеки населення, що може перебуває на приаеродромній території, включене в вимоги щодо проектування аеропортів ІКАО Doc 9184. Керівництво визначає вимоги та рекомендації щодо зонування території для захисту населення від ризиків третьої сторони, а також рекомендації щодо можливості землекористування у зонах підвищених ризиків. Згідно з рекомендаціями Методики [30] заходи щодо зменшення ризику можуть мати технічний та/або організаційний характер. При виборі конкретних заходів вирішальне значення має загальна оцінка дієвості та надійності заходів, що впливають на ризик, а також розмір витрат на їх реалізацію. Вибір запланованих до впровадження заходів безпеки має наступні пріоритети: заходи щодо зменшення імовірності виникнення аварії; заходи щодо зменшення імовірності розвитку аварії; заходи щодо зменшення тяжкості наслідків аварії. ІКАО визначає найбільш ефективним та економічно доцільним засобом попередження втрат серед мешканців – управління землекористуванням, а саме – створення **зони громадської безпеки (ЗГБ)** навколо об'єктів цивільної авіації.

**ЗГБ** – це територія навколо ЗПС або злітно-посадкового майданчика з метою обмеження кількості людей (населення і працюючих), які перебувають на території та навколо аеропорту, і щоденно наражаються на ризик загибелі чи травматизму у випадку катастрофи або аварії ПС під час їх зльоту або посадки [31]. Згідно з визначенням ІКАО зони безпеки навколо аеропорту/аеродрому/вертипорту враховують ризик для людей, що мешкають поблизу, загинути під час АП протягом одного року. В межах зон безпеки навколо аеропорту раціональним є різного ступеню заборони для зведення забудови. Рекомендації ІКАО передбачали знесення всіх житлових будівель в межах таких зон до 2015 року.

Визначення ЗГБ базується на моделюванні індивідуального ризику, яке здійснюється з використанням відповідних даних про АП для визначення ступеня ризику для населення, що мешкає навколо аеропортів, зважаючи на швидке удосконалення транспортної інфраструктури, появу новітніх видів повітряного транспорту, систем керування та періодичної заміни парку ПС. Результати моделювання визначають розміри контурів ризику, обумовленого імовірністю загибелі людини, яка перебуває в даному місці протягом року, в результаті катастрофи ПС. За рекомендаціями ІСАО кількість та нормативні вимоги щодо рівнів індивідуального ризику та функціонування встановлених ЗГБ, а також їх кількості, повинні визначатися на місцевому рівні

#### 2.4. Оцінка ризику третьої сторони в умовах авіаційних подій

Ризик зазвичай визначається як комбінація ймовірності події та тяжкості цієї події. В аналізі ризику третьої сторони переважно використовуються дві міри ризику: індивідуальний ризик (IR) і суспільний ризик (SR). У контексті аеропорту індивідуальний ризик являє собою ймовірність того, що особа, яка постійно проживає в певному місці поблизу аеропорту, загине в результаті авіакатастрофи [32]. Соціальний ризик визначається як ймовірність того, що дана кількість людей буде вбита на землі. У той час як індивідуальний ризик залежить від місця розташування, суспільний ризик стосується всієї території навколо аеропорту (рис. 4).

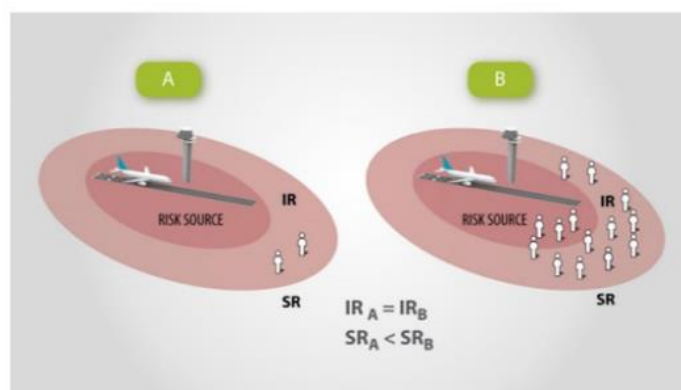


Рис. 4. Різниця між індивідуальним (IR) та соціальним ризиком (SR). Індивідуальні рівні ризику для ситуації А та В. Хоча соціальний ризик (SR) для ситуації В вище ніж для ситуації А в зв'язку з різною щільністю населення [33]

В даній роботі досліджується питання оцінки індивідуального ризику для третьої сторони навколо ЗПС традиційних аеропортів, злітно-посадкових майданчиків УАМ, вертипортів. Оцінка суспільних ризиків запланована на наступному етапі дослідження. За основу методики прогнозування індивідуального ризику було взято загальні методологічні вказівки ІКАО Doc 9184, де встановлено, що для оцінки ризику третьої сторони методика повинна включати наступні елементи (рис. 5): ймовірність виникнення АП в околиці аеропорту; модель локалізації виникнення АП; модель наслідків аварії.

Алгоритм розрахунку ризику для визначення ЗГБ, що було використано в даній роботі відповідає рекомендаціям ІКАО Doc 9184, Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів і описаний в проєкті Методики, складається з наступних кроків:

- визначення річної інтенсивності руху (а саме кількості/числа зльотів і посадок ПС) для типів/категорій ПС;
- розрахунок середньої зваженої оцінки утворення АП для всіх категорій/типів ПС (кількість аварій на 1000000 зльотів і посадок);
- розрахунок усередненого значення площі розкиду уламків ПС при катастрофі, в межах якої людина, що знаходиться на землі, буде смертельно травмована. Цей розрахунок виконується з визначенням середньої ваги ПС для кожної категорії/типу ПС, множенням на середнє значення аварій у районах в співвідношенні щорічного числа аварій для цієї ж категорії/типу ПС. Таким чином, визначається сумарний усереднений результат для всіх категорій/типів ПС та радіус площі розкиду;
- розрахунок імовірності того, що аварія ПС відбудеться у визначеному місці розташування на досліджуваній території (функції щільності імовірності за допомогою обчисленого середнього значення аварій); оцінка щорічної частоти аварій/катастроф ПС для визначеного місця розташування (тобто значення індивідуального ризику).

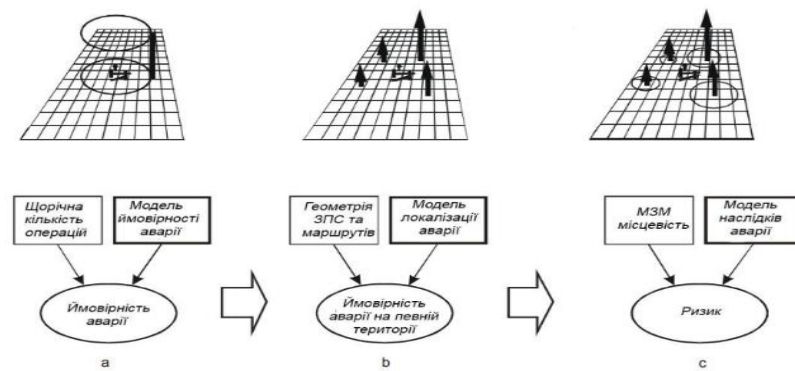


Рис. 5. Методологія оцінки ризику третьої сторони (ICAO Doc 9184)

Слід зазначити, що статистична оцінка історичних АП/катастроф здійснюється на основі комплексного підходу та аналізу таких джерел як: EASA [34]; EUROCONTROL [35]; Eurostat [36]; ICAO [37]; національні бази даних, що збирають інформацію про аварії ПС, в тому числі звіти ДАСУ та Національного бюро з розслідування АП та інцидентів з цивільними ПС про АП [38]; інші відкриті джерела інформації, в тому числі ті, що надаються виробниками ПС, проте такі дані для ПС UAM на даному етапі недоступні.

Загальне число зльотів/посадок ( $N$ ) розраховується як сума ( $N_k$ ) для категорії ПС ( $k$ ):

$$N = \sum_{i=1}^k N_k$$

Середня імовірність аварій  $R$  розраховується як зважене середнє, а саме:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^k R_k \times N_k}{N}$$

Аварії ПС, які виникають найчастіше, діляться на 4 типи: викочування ПС при зльоті, яке в результаті зазнає аварії - 20%; катастрофа ПС при зльоті - 8%; викочування ПС при посадці, яке в результаті зазнає аварії - 52%; катастрофа ПС при посадці - 20% (Додаток Б). Функція щільності імовірності для кожного типу аварії ґрунтується на загальному описі ЗПС та заданої точки. Індивідуальний ризик в точці є частота, з якою могла б відбутися аварія у межах заштрихованого квадрата (рис. б). Максимальне значення ризику знаходиться на центральній подовженій осі ЗПС (при  $x = 0$ ). Для того, щоб обчислити максимальну довжину контуру індивідуального ризику, слід обчислити індивідуальний ризик при  $x = 0$ .

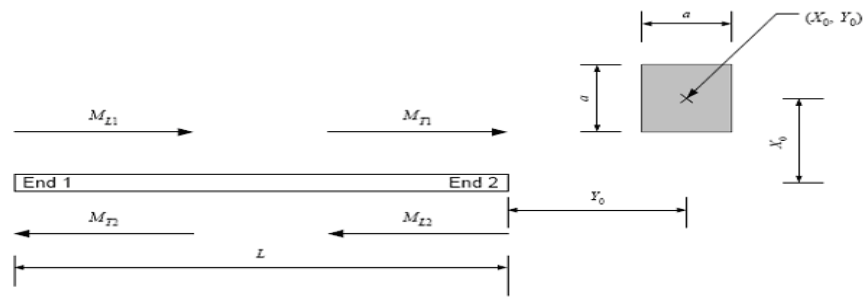


Рис. 6. Схема розрахунку індивідуального ризику

Метод оцінки індивідуального ризику від аварії легких ПС, який використано за основу в цій роботі представлено до Додатку В.

#### 2.4.1 Удосконалення методики прогнозування індивідуального ризику для транспортних засобів БПЛА

У моделі 3PRisk прогнозована частота аварій (очікувана кількість аварій на рік) у будь-якому конкретному аеропорту для певної групи ПС є добутком частоти аварій (кількість аварій на один рух) для цієї категорії літаків та річну кількість переміщень таких ПС у відповідному аеропорту. Загальна частота аварій – це сума частот аварій для різних категорій літаків. Повний розподіл ПС за типами для розрахунку частоти аварій включає 10 класів ПС (Large Jets I (L1), Large Jets II (L2), Large Jets III (L3), Large Jets IV (L4), Turboprop (T1 та T2), Executive Jets (EJ), Eastern Jets (SU), Miscellaneous (MC) та Light (LT), VJ, Helicopter) з відповідними значеннями кількості ймовірності АП на  $10^6$  ЗПО за рік (від 3.27 до 0.148). Втім, в моделі 3PRisk відсутні категорії ПС, які б відповідали параметрам ПС UAM. Для оцінки ризику зльоту та посадки передбачається, що характеристики ризику транспортних засобів UAM, зокрема eVTOL на вертодромі, не відрізняються від характеристик багатомоторного гелікоптера (клас 1 або 2), що працює на вертодромі.

Запропоновано використовувати для пілотованого eVTOL – аварійність на рівні моделі легкого пасажирського літака (зокрема,  $1.113 \cdot 10^{-6}$  ЗПО за рік), для eVTOL з дистанційним керуванням - на рівні моделі легкого літака та гелікоптера  $3.27 \cdot 10^{-6}$  ЗПО за рік, БПЛА -  $3.27 \cdot 10^{-6}$  ЗПО за рік.

Таким чином, у другому розділі було проаналізовано ризики, пов'язані з експлуатацією БПЛА для цивільного населення. Досліджено переваги та додаткові джерела ризику, зокрема у контексті урбанізованого середовища. Було встановлено,

що важливим заходом управління ризиками третьої сторони під час експлуатації UAM є встановлення зон громадської безпеки. Оцінка ризику третьої сторони в умовах авіаційних подій показала необхідність удосконалення методики прогнозування індивідуального ризику для транспортних засобів UAM.

### РОЗДІЛ 3. ПРОГНОЗУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКОМ ТРЕТЬОЇ СТОРОНИ ДЛЯ БПЛА В МЕЖАХ СИСТЕМИ МІСЬКОЇ ПОВІТРЯНОЇ МОБІЛЬНОСТІ

#### 3.1 Парк повітряних суден БПЛА

З метою пасажирських та багажних перевезень між кількома перспективними транспортними вузлами Київської агломерації було сформовано парк транспортних засобів, що відповідає загальним літно-технічним вимогам та функціональному призначенню згідно з даними виробників. Транспортні засоби UAM, які будуть експлуатуватися є мультикоптерами, що дає можливість працювати з в межах щільності міської забудови з точки зору безпеки польотів. Передбачається, що ПС UAM з вагою понад 800 кг будуть сертифіковані за EASA SC-VTOL і керуються одним сертифікованим пілотом. Також в умовах використання змішаного парку UAM до розрахункових сценаріїв буде включено один тип БПЛА та AAV, які обладнані засобами дистанційного керування для оцінки ризиків третьої сторони. Основні літно-технічні характеристики ПС UAM, які використані в розрахунках індивідуальних рівнів ризику представлено в табл. 1

Таблиця 1

#### Характеристика розрахункових типів ПС UAM

Тип ПС	Модель	Геометричні розміри	Маса	Кількість пасажирів	Дальність польоту, км	Максимальна швидкість
UAV	GAIA 190MP	Wheelbase: 1925 mm	60 kg	- (35 kg payload)	10 km	10 m/s
Autonomous Aerial Vehicle	Ehang 216	Length 5.61 m	360 kg + 260 kg	2	35 km	160 km/h
eVTOL	Joby S4	Wingspan 10.7 m Length 7.3 m	1,815 kg	1 pilot + 4 pax	241.4 km	322 km/h
eVTOL	Joby S2	Wingspan 8.5 m	900 kg	1 pilot + 1 pax	320 km	320 km/h



**GAIA 190MP-Heavy Lift Drone-A3 Pro RTF** — багатоцільова великовантажна платформа. Гексакоптер виготовлено з матеріалу з вуглецевого волокна, оснащений потужними двигунами і пропелерами, що забезпечує тривалий час польоту (рис. 7-а).

**EHang 216.** EHang Holdings Limited – китайська компанія, яка є світовим лідером у виробництві AAV. Ключовою моделлю компанії є EHang 216, двомісний літак eVTOL. На рис. 7-б зображено зовнішній вигляд EHang 216. Знизу кабіни простягаються вісім важелів, кожний з яких несе два пропелери на зовнішньому кінці.



а)



б)

Рис. 7. Типи ПС UAM: а) EHang 216; б) EHang 216 UAM

**Joby S2** від Joby Aviation. Двохпасажирський eVTOL концепт-дизайн аеротаксі S2 (рис. 8-а) повинен мати 12 гвинтів на поворотних і складних гондолах з вісьмома гвинтами на головному крилі та чотирма гвинтами на V-подібному оперенні.



а)



б)

Рис. 9. ПС UAM від Joby Aviation: а) візуалізація двомісного концепту Joby S2; б) зовнішній вигляд Joby S4 2.0

**Joby S4.** Joby S4 2.0 (покоління 2) – це п'ятимісне ПС (1 пілот і 4 пасажери) із 6 поворотними гвинтами, які розташовані як на фіксованому високому крилі, так і на його V-подібній частині (рис. 8-б). 4 пропелери закріплені вертикально, а 2 з пропелерів рухаються за допомогою з'єднувального механізму.

### 3.2. Сценарії експлуатації засобів БПЛА

В даному дослідженні для оцінки ризиків третьої сторони ПС UAM використано модель НАУ (3PRisk) для оцінки ризиків третьої сторони, яку було удосконалено з урахуванням ризику аварійності UAM та розмірів транспортних засобів. Як відправну точку розрахунку ризику третьої сторони для типової операції UAM спочатку слід розробити експлуатаційні сценарії. Сценарій розрахунку стосується гіпотетичної ситуації, в якій транспортним засобам UAM дозволено працювати над містом та перевозити пасажирів до перевантаженої наземним транспортом центральної частини міста. Вважається, що ці сценарії будуть прибутковими і оптимальними для ефективної доставки подорожуючих з аеропорту до залізничного вокзалу і навпаки та між двома аеропортами. Сценарії, які можуть бути інтегровані в систему інтермодальних перевезень м. Києва подано в табл.2.

Таблиця 2

#### Сценарії експлуатації UAM для Вертипорту 1

Тип ПС UAM	Розрахункова злітна маса, кг	Кількість ЗПО за рік	Середня кількість за добу
Сценарій 1, маршрут: track 1			
GAIA 190MP	60	1000	2,7
Ehang 216	620	3000	8.2
Joby S2	900	600	1
Сценарій 2, маршрут: track 2			
Joby S2	900	3000	8.2
Joby S4	1815	600	2
Сценарій 3, маршрути: track 1, track 2			
GAIA 190MP	60	1000	2,7
Ehang 216	620	3000	8,2
Joby S2	900	3600	9,8
Joby S4	1815	600	2

### 3.3. Розташування вертипортів

Вертипорти повинні бути побудовані в вигляді спеціально влаштованих злітно-посадкових майданчиків з можливістю обслуговування ПС, пасажирів, багажу, а також з наявною інфраструктурою для обслуговуючого персоналу (Додаток Г). Таким

чином, територія вертипорту, зазвичай, не може обмежуватися лише невеликим майданчиком для вертикального зльоту/посадки.

Для оцінки ризику третьої сторони в умовах АП було запропоновано Вертипорт 1 в середмісті, поблизу аеропорту Київ (Жуляни) (УККК) – рис. 10. В дослідженні розглядаються умови поєднання такого майданчика транспортних сполучення системи УАМ (Вертипорт 1) з транспортним вузлом в районі залізничного вокзалу на ділянці Вертипорту 2 (рис. 11) – сценарії 1 та 3. Ділянки для розташування вертипортів в межах міста було обрано на основі аналізу потенційного попиту на пасажирські перевезення з урахуванням існуючих зони заборон та обмежень використання повітряного простору (дані ДАСУ на початок 2022 року).

Сценарії 2 та 3 передбачають можливість використання транспортних засобів УАМ для приміських перевезень (тим більше, що максимальна дальність польоту покриває рух до місця призначення та назад – орієнтовно – 30 км). В якості Вертипорту 3 (рис. 12) було обрано майданчик поблизу аеропорту Антонов-2, концепція розвитку якого включає будівництво пасажирського терміналу, тому передбачається що попит на перевезення УАМ між аеропортами Київ (Жуляни) та Антонов-2 може бути значним, особливо за збереження існуючої схеми наземних транспортних шляхів.

### 3.4 Маршрути руху та розробка місій

Схема руху ПС УАМ між запроєктованими вертипортами представлена на рис. 4. Відстань між вертипортами 1 та 2 складає 4,5 км; відстань між вертипортами 1 та 3 – 28 км (Додаток Д, рис. Д.1). Енергетично найвигідніше будувати маршрут руху ПС по прямій, але це не завжди можливо, враховуючи містобудівні обмеження, зони заборон та обмежень використання повітряного простору тощо, скарги населення тощо. В даній роботі було досліджено ефективність різних маршрутів в контексті питання ризику третьої сторони. З цією метою виконано порівняння результатів моделювання ризику третьої сторони за найкоротшими маршрутами (Track 1 та 2) з оптимальними (Track 1X та 2X) (Додаток Д, рис. Д.2). в плані перетину з щільною багатоповерховою житловою забудовою (розробленими за допомогою програмного комплексу Mission Planner).



Рис. 10. Схема розташування Вертипорту 1 в середмісті Києва відносно аеродрому UKKK



Рис. 11. Схема розташування Вертипорту 2 в районі залізничного вузла



Рис. 12. Схема розташування Вертипорту 3 поблизу аеродрому Антонов-2

В вертикальній площині було визначено такі етапи злітно-посадкового циклу: вертикальний зліт/посадка, набір висоти, круїзний, зниження перед посадкою (схема на рис. 13). Значення точок R1-R6 (рис. 12) було обрано для кожного типу ПС UAM залежно від його льотно-технічних характеристик окремо.

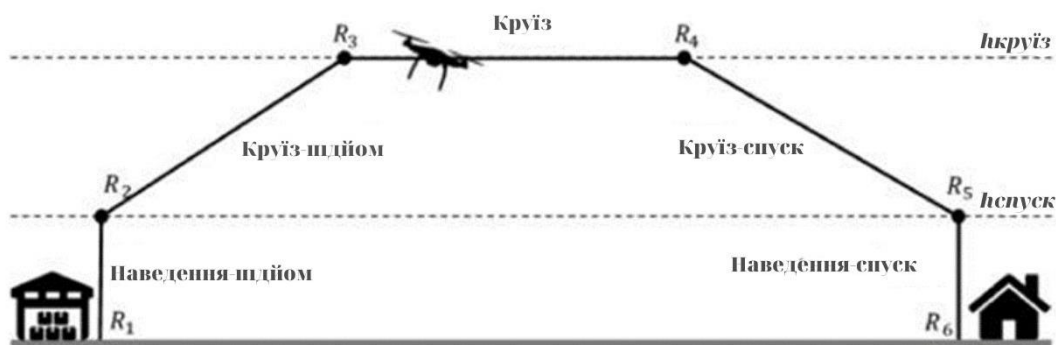


Рис. 13. Схема злітно-посадкового циклу ПС UAM: R1-R6 – розрахункові точки місії

### 3.5. Результати прогнозування

Результати індивідуальних розрахунків ризику складаються з результатів низки окремих розрахунків ризику на маршруті та ризику зльоту та посадки.

Для розрахунку індивідуального ризику було обрано зону  $10 \times 10$  км<sup>2</sup>, розрахункові сітка –  $1000 \times 1000$  точок. Результати оцінки ризику третьої сторони за вдосконаленою моделлю 3PRisk для сценаріїв 1-3 без урахування маршрутів руху ПС UAM представлено в Додатку Е (зважена площа розкиду уламків (га/к-сть АП), радіус усередненої площі уламків). Аналіз результатів моделювання (Додаток Е) показав, що радіус усередненої площі уламків є найбільшим для сценарію 1. Оптимальним є використання сценарію 2 (найменша площа уламків від усередненої АП), що особливо важливо в межах міської забудови. Просторове моделювання з використанням удосконаленої моделі 3PRisk дозволило визначити контури індивідуального ризику на рівні  $10^{-6}$  для трьох сценаріїв експлуатації та двох наборів маршрутів (табл. 3, Додаток Є).

Результати прогнозування, наведені в Додатках Е та Є показують необхідність встановлення ЗГБ поблизу вертодрому та вздовж маршруту (до певної відстані,

залежно від парку ПС UAM) для дотримання рекомендованого рівня індивідуального ризику  $10^{-6}$ .

Таблиця 3

**Результати моделювання контурів індивідуальних рівнів ризику для Вертипорту 1**

Сценарій	Назва маршруту	Максимальна ширина, м	Максимальна довжина, км	Площа $10^{-6}$ , км <sup>2</sup>	Периметр $10^{-6}$ , км
Сценарій 1	Track 1	150	3,2	0,31	6,9
Сценарій 2	Track 2	140	3,9	0,33	8,4
Сценарій 3	Track 1+ Track 2	150	3,9	0,52	14,2
Сценарій 1	Track 1X	150	3,31	0,30	7,2
Сценарій 2	Track 2X	140	4,0	0,34	8,6
Сценарій 3	Track 1X+ Track 2X	150	4,1	0,53	14,6

Використання альтернативних маршрутів руху UAM може розглядатися як ефективний управлінський захід зі зниження ризику для населення, проте вибір таких маршрутів може бути обмежений щільною забудовою, наявністю зон заборонених польотів та об'єктів критичної інфраструктури (хоча щодо останніх політики в різних країнах можуть відрізнятися істотно, зокрема, розглядаються можливості [39] прокладення трас UAM над лінійними транспортними об'єктами).

У третьому розділі було проведено дослідження і аналіз різних аспектів, пов'язаних з прогнозуванням та управлінням ризиком третьої сторони. Встановлено, що парк повітряних суден UAM має значний потенціал у системі міської повітряної мобільності. Були досліджені різноманітні види повітряних суден та їх характеристики, що дозволило зрозуміти їх можливості та обмеження. Також було розглянуто різні сценарії експлуатації засобів UAM, що дозволило ідентифікувати потенційні ризики, що виникають під час їх використання в міському середовищі.

В результаті проведених досліджень були розроблені рекомендації щодо управління ризиками третьої сторони для безпілотних повітряних апаратів (БПЛА) у межах системи міської повітряної мобільності.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи на тему «Зменшення ризику третьої сторони для цивільного населення при експлуатації БПЛА (в мирний час)» було вирішено наступні завдання:

- вивчено та проаналізовано огляд безпілотних повітряних апаратів (БПЛА) та їх застосування у міському середовищі, включаючи визначення та класифікацію БПЛА, переваги та виклики їх використання;
- досліджено поняття сталого розвитку та його значення у міському середовищі, а також розглянуто управління та регулювання роботи БПЛА у міському середовищі, нормативно-правову базу та поточні нормативні акти;
- проведено аналіз ризиків, пов'язаних з експлуатацією БПЛА для цивільного населення, зокрема в урбанізованому середовищі, і визначено додаткові джерела ризику;
- запропоновано встановлення зон громадської безпеки як захід управління ризиками третьої сторони при експлуатації безпілотних повітряних апаратів, а також удосконалення методики прогнозування індивідуального ризику для транспортних засобів;
- розглянуто парк повітряних суден БПЛА, сценарії їх експлуатації та розташування вертипортів у межах системи міської повітряної мобільності;
- сформовано експлуатаційні сценарії та прогнозовані рівні очікуваного ризику для досліджуваних сценаріїв на території щільної міської забудови;
- обґрунтовано розміри та межі зон громадської безпеки для досліджуваних сценаріїв та дані рекомендації щодо підвищення рівня безпеки для населення під час повітряних міських перевезень.

Таким чином, було досягнуто поставленої мети щодо розробки та впровадження ефективних стратегій управління ризиками третьої сторони для безпілотних повітряних апаратів у міському середовищі.

Новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні існуючої моделі для прогнозування та моделювання ризику як навколо злітно-посадкових смуг, так і



навколо вертипортів, або спеціально влаштованих злітно-посадкових майданчиків. Маршрути руху транспортних засобів та сценарії експлуатації було розроблено автором особисто.

Практичне застосування методики було продемонстровано на прикладі сценаріїв експлуатації транспортних засобів БПЛА в вертипорту в межах міської забудови м. Києва.

Результати прогнозування (індивідуальних рівнів за удосконаленою методикою дозволяють обирати оптимальні маршрути (з точки зору сумісності з житловою та громадською забудовою), оцінити можливість розташування вертипорту/злітно посадкового майданчику в межах даної ділянки та порівняти ризики для третьої сторони за умови експлуатації різних типів транспортних засобів БПЛА, які мають дуже різноманітні технічні, експлуатаційні властивості та функціональне призначення. Загалом передбачається, що внутрішня безпека сертифікованих ПС є достатньою, щоб гарантувати, що ризик для третіх сторін є прийнятним, або навіть не розглядається взагалі. У випадку, якщо ризик третьої сторони стане домінуючим ризиком через конкретну операцію, припускається, що це буде вирішено за допомогою спеціальних заходів. Якщо компромісу управлінськими рішеннями не вдається досягти (це є досить складним у межах забудови, що вже склалася) і рівні індивідуальних ризиків перевищують  $10^{-6}$ , мають бути обґрунтовані зони громадської безпеки з належними обмеженнями по їх використанню та доступу.

Робота отримала позитивний відгук на науково-практичних конференціях у м. Дніпрі, (конференція «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства», квітень 2023, доповідь на тему «Регулювання використання дронів у міському середовищі: проблеми та шляхи вирішення»), у м. Києві (конференція «АВІА-2023», квітень 2023, доповідь «Electric and hybrid aircraft in terms of noise reduction», матеріали у співавторстві та у м. Кременчук (міжнародний конкурс студентських наукових робіт, червень 2023, наукова робота «Forecasting of third-party risk during aviation accidents with urban air mobility vehicles», а також отримала акт впровадження в навчальний процес Національного авіаційного університету (Додаток І). Під час підготовки даної

роботи автор проходила тренінг для фахівців у сфері цивільної авіації та охорони навколишнього середовища в межах проєкту Модуль Жана Моне «European Standards, Tools, Policies and ICAO Best Practices for Environmental Protection of Civil Aviation»» № 621138-EPP-1-2020-1-UA-EPPJMO-MODULE (2020-2023), про що отримала сертифікат (Додаток II).

Таким чином, результати кваліфікаційної роботи в цілому можуть підвищити рівень безпеки населення, що проживає на урбанізованих територіях та сприяти впровадженню нових інноваційних технологій транспорту, зокрема ПС БПЛА. Завдяки використанню удосконаленої методики прогнозування ризиків, можна забезпечити безпечне розташування вертипорту/злітно-посадкового майданчику в межах даної ділянки, підбираючи оптимальний маршрут з точки зору сумісності з житловою та громадською забудовою.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.grupooneair.com/new-easa-drone-regulations/>
2. Marzouk, Osama A. Urban air mobility and flying cars: Overview, examples, prospects, drawbacks, and solutions. *Open Engineering*, vol. 12, no. 1, 2022, pp. 662-679. <https://doi.org/10.1515/eng-2022-0379>
3. Specific Category - Civil Drones | EASA (europa.eu)
4. Open Category - Civil Drones | EASA (europa.eu)
5. NLR-TR-2021-278. Safety Targets for UAM Vehicles From a Third Party Risk perspective. – August 2021. – NLR. – 39 p.
6. A concept for better regulation in general aviation, EASA workshop “Revised Part-M requirements for aircraft not involved in commercial air transport” Juan Anton, Frederic Knecht, 2017
7. Remote Sensing | Free Full-Text | Review of the Current State of UAV Regulations (mdpi.com)
8. Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) (Doc 10019) | ICAO Store
9. Manual of Electronic Flight Bags (EFBs) (Doc 10020) | ICAO Store
10. Microsoft Word - Circ.328.alltext.en.docx (icao.int)
11. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 | EASA (europa.eu)
12. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 | EASA (europa.eu)
13. Opinion 01/2018 - Unmanned aircraft system (UAS) operations in the ‘open’ and ‘specific’ categories | EASA (europa.eu)
14. Повітряний кодекс України | від 19.05.2011 № 3393-VI (rada.gov.ua)
15. Про затвердження Положення про в... | від 06.12.2017 № 954 (rada.gov.ua)
16. Про затвердження Авіаційних ... | від 11.05.2018 № 430/210 (rada.gov.ua)
17. Регулювання використання безпілотних літальних засобів в умовах воєнного стану | Новини МНАУ (mnau.edu.ua)
18. EASA. What are the benefits for the EU? // <https://www.easa.europa.eu/en/what-is-uam>
19. NASA Report CR—2020—5001587. Urban Air Mobility Operational Concept

- (OpsCon) Passenger-Carrying Operations, May 2020. – 105 p. // <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205001587/downloads/UAM%20Passenger-carrying%20OpsCon%20-%20v14%20GP%20accept.pdf>
20. Microsoft Word - eVTOLhazards.v2.0 SMA April.18.2022-1 (nasa.gov)
21. Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe, May 2021. – 162 p. // <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-full-report.pdf>
22. EASA Drone Incident Management at Aerodromes PART 1: The challenge of unauthorised drones in the surroundings of aerodromes. Cologne, Germany, 8 March 2021 – 9c.
23. Concept of Operations: Autonomous UAM Aircraft Operations and Vertiport Integration. Wisk Aero and Skyports, April 2022. – 33 p. // <https://wisk.aero/wp-content/uploads/2022/04/2022-04-12-Wisk-Skyports-ConOps-Autonomous-eVTOL-Operations-FINAL.pdf>
24. ICAO Doc 9184 - Part 2. Airport Planning Manual - Part II - Land Use and Environmental Management, 4th Edition, 2018.
25. Michiel J. Schuurman, Borrdephong Rattanagraikanakorn, Christos Kassapoglou, Roeland De Breuker. Urban air mobility (UAM) vehicle design considerations to facilitate future accident investigation, AIAA 2019-3628. AIAA Aviation 2019 Forum. June 2019. <https://doi.org/10.2514/6.2019-3628>
26. H.A.P. Blom, C. Jiang, W.B.A. Grimme, M. Mitici, Y.S. Cheung Third party risk modelling of Unmanned Aircraft System operations, with application to parcel delivery service Reliab. Eng. Syst. Saf., 214 (2021), Article 1077.
27. A concept for better regulation in general aviation, EASA workshop “Revised Part-M requirements for aircraft not involved in commercial air transport” Juan Anton, Frederic Knecht, 2017
28. EASA Drone Incident Management at Aerodromes PART 2: The challenge of unauthorised drones in the surroundings of aerodromes, 8 March 2022 – 18 p.
29. Повітряний Кодекс України, Відомості ВВР зі змінами, 2011, № 48-49, ст.536.
30. Методика розрахунку ризиків для визначення зон громадської безпеки. Державіаслужба України. Національний авіаційний університет, 2006р. (проект).

31. Правила встановлення зон громадської безпеки аеропорту. Державіаслужба України. Національний авіаційний університет, 2006р. (проект).
32. EUROCONTROL: Feasibility study on the integration of third-party risk near airports into IMPACT, 2015 - 130 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/d2-report-on-the-feasibility-of-integrating-tpr-into-impact.pdf>
33. NLR-TR-2021-278. Safety Targets for UAM Vehicles From a Third Party Risk perspective. – August 2021. – NLR. – 39 p.
34. EASA. ANNUAL ACTIVITY REPORT 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA%20MB%20Decision%20202-2018%20Annex%20Annual%20Activity%20report%202017.pdf>
35. EUROCONTROL. SAFER. 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eurocontrol.int/articles/safer>
36. Eurostat. Transport statistics. 2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>.
37. SKYbrary. ICAO ADREP. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.skybrary.aero/index.php/ICAO\\_ADREP](http://www.skybrary.aero/index.php/ICAO_ADREP).
38. Аналіз стану безпеки польотів за результатами розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами України та суднами іноземної реєстрації, що сталися у I півріччі 2019 року // Національного бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами про авіаційні події. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7\\_1\\_%D0%BF%D1%96%D0%B2\\_2019.pdf](http://www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7_1_%D0%BF%D1%96%D0%B2_2019.pdf)
39. 26. R&D Report 9636 Third Party Risk Near Airports and Public Safety Zone Policy AW Evans P B Foot S M Mason I G Parker K Slater National Air Traffic Services Limited, London, June 1997. – 232 p.

## ДОДАТКИ

**Додаток І.** Акт впровадження результатів наукової роботи у навчальний процес Національного авіаційного університету

**Додаток ІІ.** Сертифікат тренінгу «European Standards, Tools, Policies and ICAO Best Practices for Environmental Protection of Civil Aviation»

**Додаток А.** Інтеграція БПЛА в повітряний простір

**Додаток Б.** Відсоток катастроф в світовій цивільній авіації

**Додаток В.** Метод оцінки індивідуального ризику для АП з легкими типами ПС

**Додаток Г.** Схема типового вертипорту

**Додаток Д.** Маршрути руху ПС БПЛА

**Додаток Е.** Результати оцінки зваженої площі розкиду уламків та радіусу усередненої площі для Сценаріїв 1-3

**Додаток Є.** Карти зон громадської безпеки для розрахункових Сценаріїв 1-3

## Акт впровадження результатів наукової роботи у навчальний процес Національного авіаційного університету



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з навчальної роботи

Анатолій ПОЛУХІН

«28» \_\_\_\_\_ 2023 р.

### АКТ

#### упровадження результатів наукової роботи у навчальний процес Національного авіаційного університету

Ми, що нижче підписалися, декан Факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій, д.т.н., професор Матвєєва І.В., завідувач кафедри цивільної та промислової безпеки, к.м.н., професор Халмуралов Б.Д., професор кафедри цивільної та промислової безпеки, д.т.н., професор Третьяков О.В., доцент кафедри цивільної та промислової безпеки, к.т.н., доцент Синило К.В. склали цей акт про те, що результати наукової роботи здобувача вищої освіти Факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій (ФЕБІТ) Лагоди Юлії Олександрівни під назвою «Прогнозування ризику третьої сторони під час авіаційних подій з транспортними засобами міського повітряного транспорту» у вигляді частини лабораторного практикуму для дисципліни «Техногенна безпека аеропортів цивільної авіації» (Методичні вказівки до лабораторної роботи «Оцінка ризику третьої сторони в умовах авіаційних подій») використовується у навчальному процесі Національного авіаційного університету на кафедрі цивільної та промислової безпеки.

Назва результату НДР, що упроваджується	Форма упровадження (монографія, підручник, навчальний посібник, конспект лекцій, методична розробка, лабораторний практикум, програма курсу, постановка лабораторної роботи, програма, продовження розробки у курсовій, дипломній роботі тощо)	Ефект від упровадження
1. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Оцінка ризику третьої сторони в умовах авіаційних подій» навчальної дисципліни «Техногенна безпека аеропортів цивільної авіації»	Методичні вказівки до лабораторної роботи використовуються під час викладання навчальної дисципліни «Техногенна безпека аеропортів цивільної авіації»	Покращення якості викладання матеріалів, рівня підготовки здобувачів вищої освіти та підвищення рівня забезпеченості навчальною літературою з 85% до 90%.

Декан ФЕБІТ

Завідувач кафедри цивільної та промислової безпеки ФЕБІТ

Професор кафедри цивільної та промислової безпеки ФЕБІТ

Доцент кафедри цивільної та промислової безпеки ФЕБІТ

Ірина МАТВЄЄВА

Батир ХАЛМУРАДОВ

Олег ТРЕТЬЯКОВ

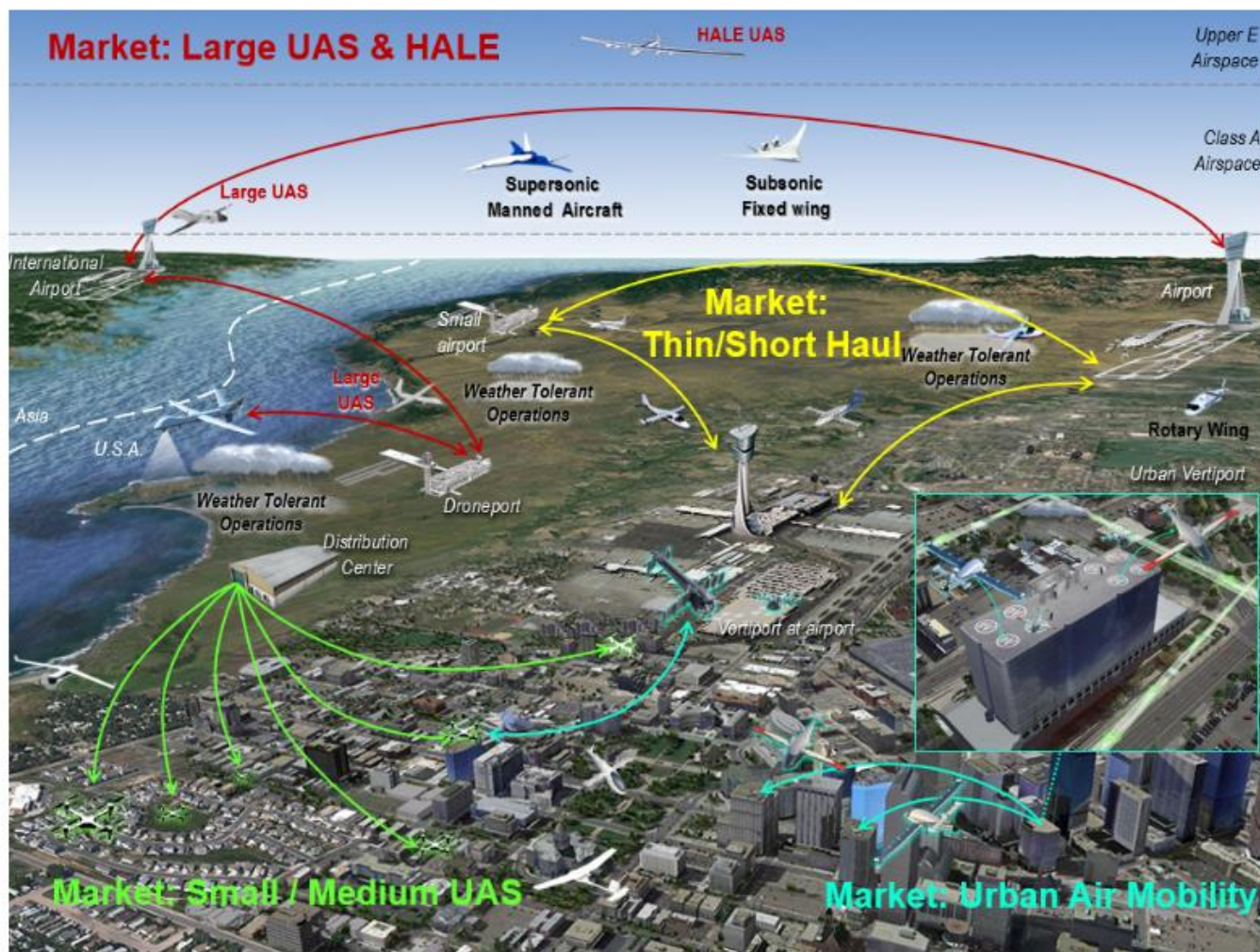
Катерина СИНІЛО

Сертифікат тренінгу «European Standards, Tools, Policies and ICAO Best Practices for Environmental Protection of Civil Aviation»

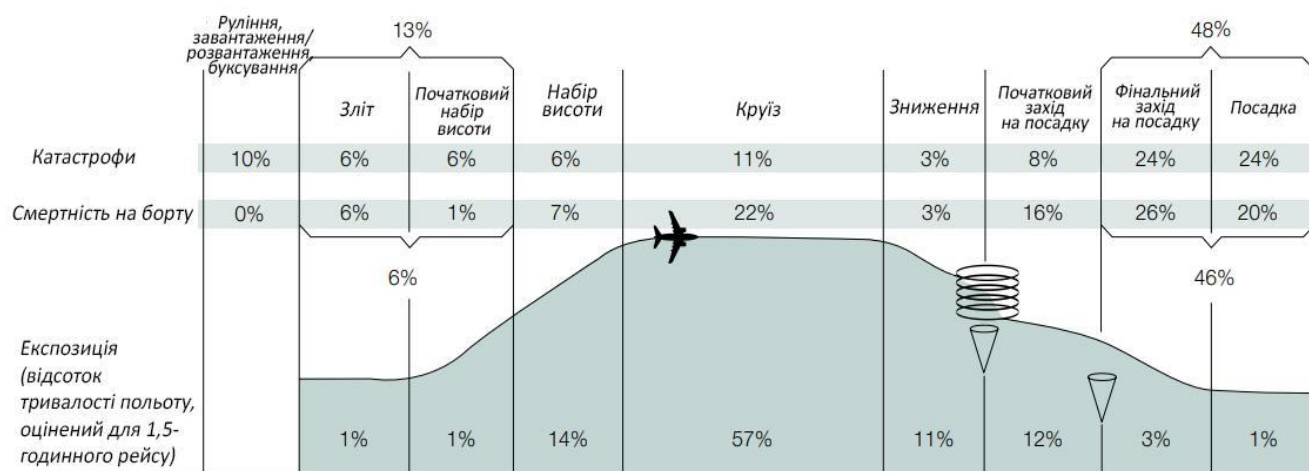




Інтеграція БПЛА в повітряний простір



Відсоток катастроф в світовій цивільній авіації



(відсотки в сумі можуть бути більшими за 100% через особливості чисельного округлення)

## Метод оцінки індивідуального ризику для АП з легкими типами ПС

В даній роботі запропоновано використовувати оцінку індивідуальний ризик від аварії легких ПС за наступним інтегралом:

$$IR_{Light} = \int_{X_0 - \frac{b}{2}}^{X_0 + \frac{b}{2}} \int_{Y_0 - \frac{b}{2}}^{Y_0 + \frac{b}{2}} [R_{Light} M_{Light1} f^{Light1}(x, y) + R_{Light} M_{Light2} f^{Light2}(x, y)] dx \cdot dy$$

Модель розподілу аварії легкого ПС, має вигляд:

$$f^{Light}(r, \theta) = 8 \times 10^{-8} \exp\left(\frac{-r}{2500}\right) \exp\left(\frac{-3\theta}{\pi}\right)$$

Загальний індивідуальний ризик в заданій точці - це сума індивідуальних ризиків від окремих типів ПС УАМ. Форма контуру індивідуального ризику, як правило, подібна до трикутника. Для контуру індивідуального ризику сама віддалена точка знаходиться далеко від торця ЗПС на подовженій центральній осі ЗПС і є "вершиною" трикутника.

Розміри для кожного трикутника визначаються наступним чином (рис. В.1)

- визначають максимальне віддалення ( $Y_{max}$ ) уздовж подовженої центральної осі ЗПС, на якому значення індивідуального ризику дорівнює чи перевищує задане;
- визначають максимальне перпендикулярне віддалення ( $X_{mw}$ ) від подовженої центральної осі ЗПС.

Ширина основи трикутника розраховується за наступною формулою:

$$X_{max} = \frac{Y_{max} X_{mw}}{Y_{max} - Y_{mw}}$$

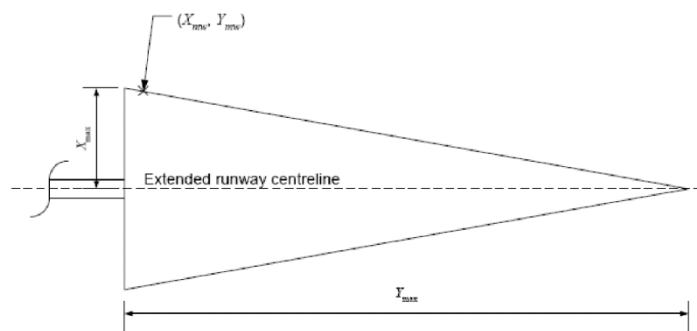
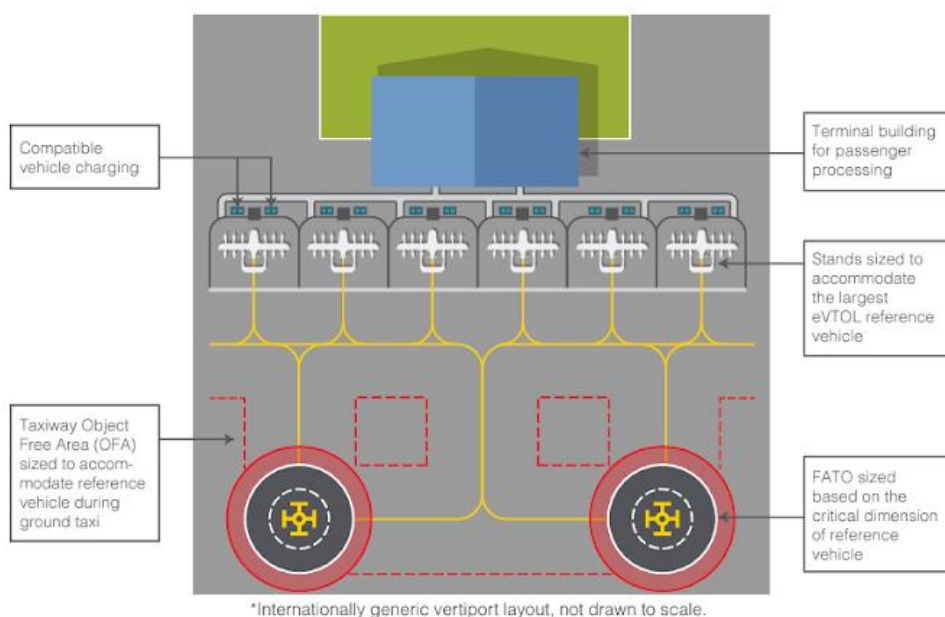


Рис. В.1. Схема розрахунку трикутника

## Схема типового вертипорту:



1 – Compatible vehicle charging = Сумісний зарядний пристрій;

2 – Terminal building for passenger processing = Термінал для обслуговування пасажирів);

3 – Stands sized to accommodate the largest eVTOL reference vehicle = Міця стоянок, які підходять для розміщення найбільшого еталонного автомобіля eVTOL;

4 – Taxiway Object Free Area (OFA) sized to accommodate reference vehicle during ground taxi = Зона, вільна від об'єктів на руліжній доріжці;

5 – FATO sized based on the critical dimension of reference vehicle = Розмір базується на критичних розмірах контрольного транспортного засобу.

Маршрути руху ПС БПЛА

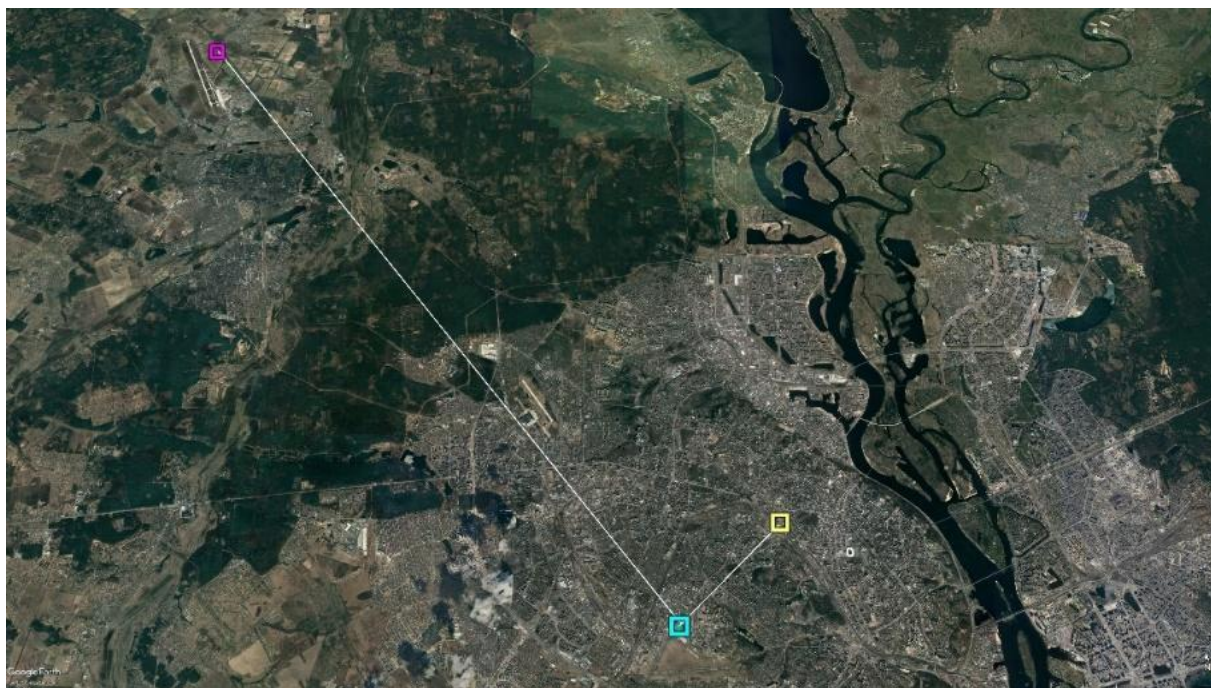


Рис. Д.1. Взаємне розташування вертипортів на карті.



Рис. Д.2. Маршрути руху ПС UAM в районі Вертипорту 1: червоний – прямолінійні маршрути; блакитний – оптимальні маршрути руху ПС UAM; блакитний прямокутник – територія Вертипорту 1.

Результати оцінки зваженої площі розкиду уламків та радіусу усередненої площі  
для сценаріїв 1-3

Сценарій 1				
Мс, т	Частота аварій на 106 польотів	Частота аварій в вертипорту за рік	$\ln A = \text{LN}(10000) - 6.16 + 0.474 * \text{LN}(10000)$	Зважена площа розкиду уламків (га/к-сть АП)
0.8	1.113	0.0013356	6.218846331	6.71E-05
1.8	3.27	0.001635	6.603227253	1.21E-04
0.6	3.27	0.001308	6.082485029	5.73E-05
Усереднене значення для всього парку за рік		<b>1.43E-03</b>		<b>8.16E-05</b>
Усереднене значення для всього парку ПС за один політ		<b>1.85221E-07</b>	<b>усередненої площі, м</b>	<b>16.1</b>

Сценарій 2				
Мс, т	Частота аварій на 106 польотів	Частота аварій в вертипорту за рік	$\ln A = \text{LN}(10000) - 6.16 + 0.474 * \text{LN}(10000)$	Зважена площа розкиду уламків (га/к-сть АП)
0.8	1.113	6.68E-03	6.218846331	3.35E-04
1.8	3.27	6.68E-04	6.603227253	4.92E-05
0.6	3.27	-	-	-
Усереднене значення для всього парку за рік		<b>3.67E-03</b>	-	<b>1.92E-04</b>
Усереднене значення для всього парку ПС за один політ		<b>1.85221E-07</b>	<b>Радіус усередненої площі, м</b>	<b>7.15</b>

Сценарій 3				
Мс, т	Частота аварій на 106 польотів	Частота аварій в вертипорту за рік	$\ln A = \text{LN}(10000) - 6.16 + 0.474 * \text{LN}(10000)$	Зважена площа розкиду уламків (га/к-сть АП)
0.8	1.113	4.01E-03	6.218846331	2.01E-04
1.8	3.27	0.001635	6.603227253	1.21E-04
0.6	3.27	0.001308	6.082485029	4.30E-04
Усереднене значення для всього парку за рік		<b>2.32E-03</b>	-	<b>2.51E-04</b>
Усереднене значення для всього парку ПС за один політ		<b>1.85221E-07</b>	<b>Радіус усередненої площі, м</b>	<b>8.95</b>

## Карти зон громадської безпеки для розрахункових Сценаріїв 1-3



Рис. Є.1. Рівні ризику третьої сторони для Сценарію 1 поблизу Вертипорту 1: блакитний – територія вертипорту; червона пряма – прямолінійна траєкторія руху ПС UAM (Track 1), салатовий – контур рівного ризику  $10^{-6}$ , жовті окружності – зони багатоповерхової забудови, що перетинають траєкторію руху ПС UAM.



Рис. Є.2. Рівні ризику третьої сторони для Сценарію 2 поблизу Вертипорту 1: блакитний – територія вертипорту; червона пряма – прямолінійна траєкторія руху ПС UAM (Track 2), салатовий – контур рівного ризику  $10^{-6}$ , жовті окружності – зони багатоповерхової забудови, що перетинають траєкторію руху ПС UAM.

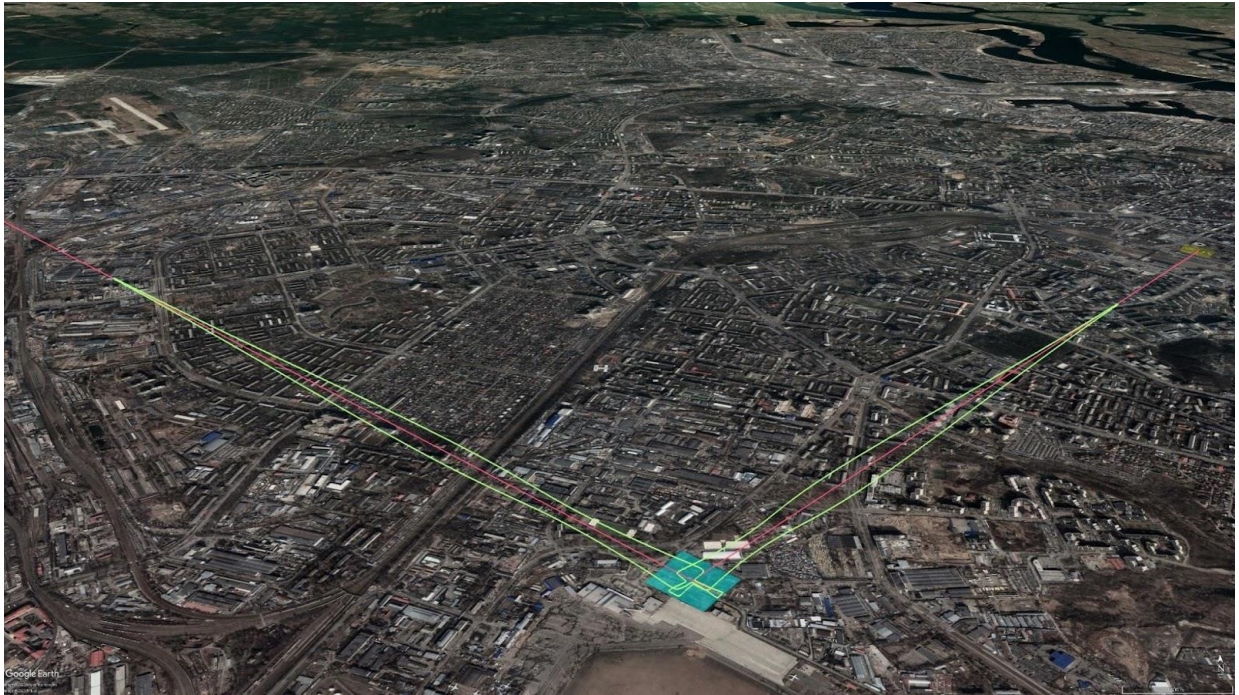


Рис. Є.3. Рівні ризику третьої сторони для Сценарію 3 поблизу Вертипорту 1: блакитний – територія вертипорту; червоні прямі – прямолінійні траєкторії руху ПС UAM (Track 1 та 2), салатовий – контур рівного ризику  $10^{-6}$ .

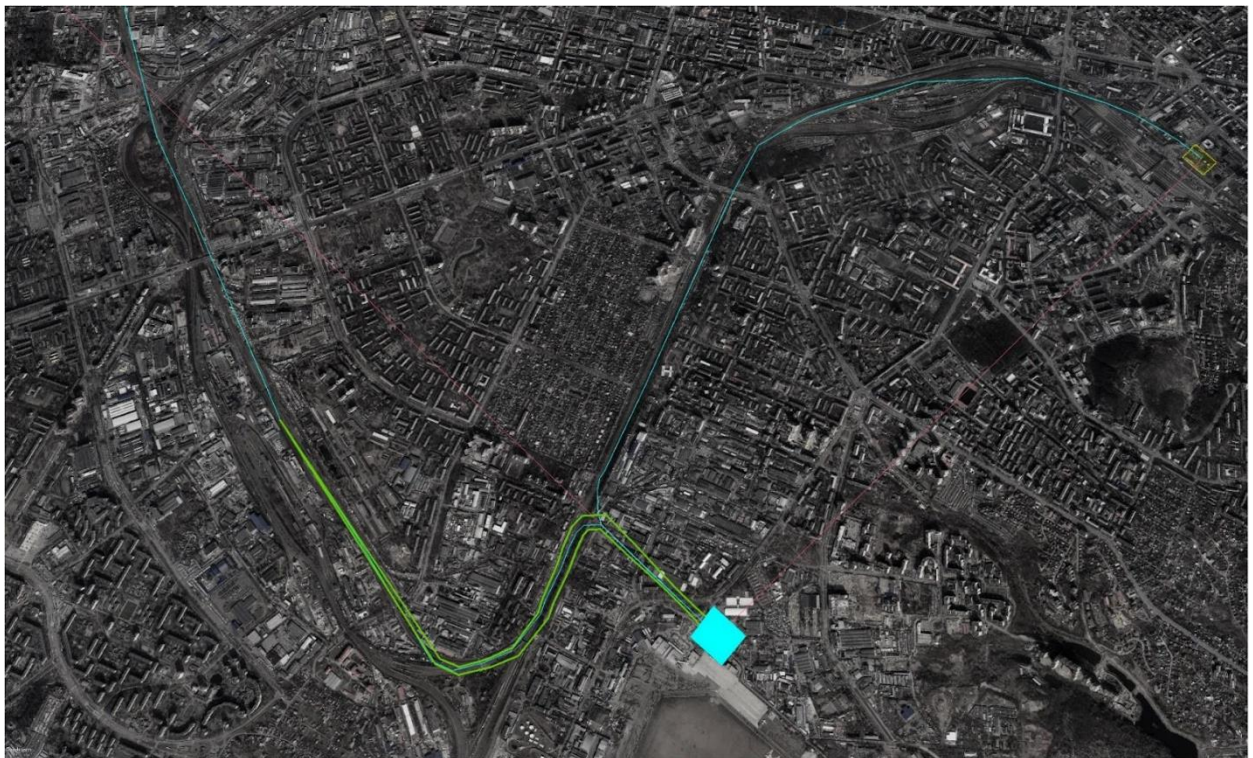


Рис.Є.4. Рівні ризику третьої сторони для Сценарію 1 поблизу Вертипорту 1: блакитний – територія вертипорту; блакитні криві – оптимізовані траєкторії руху ПС UAM (Track 1X), салатовий – контур рівного ризику  $10^{-6}$ , жовті окружності – зони багатоповерхової забудови, що перетинають траєкторію руху ПС UAM.



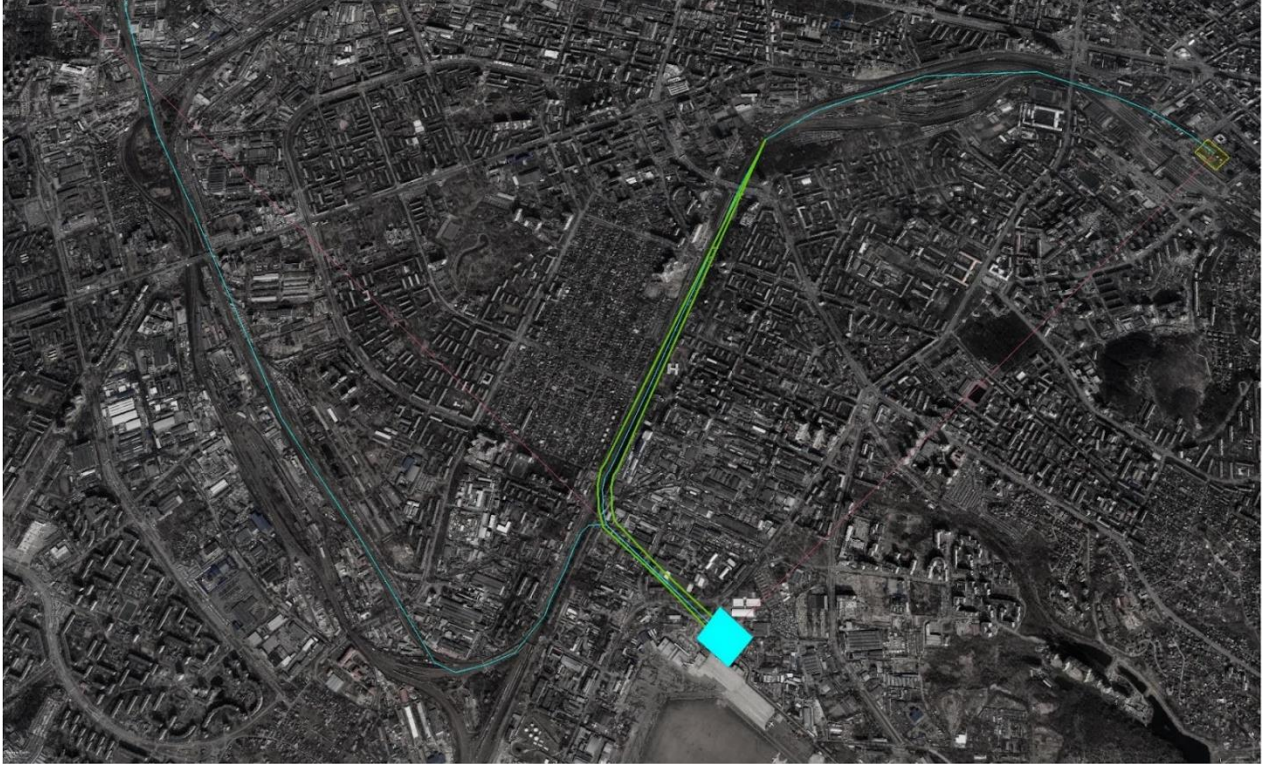


Рис. Є.5. Рівні ризику третьої сторони для Сценарію 2 поблизу Вертипорту 1: блакитний – територія вертипорту; блакитні криві – оптимізовані траєкторії руху ПС UAM (Track 2X), салатовий – контур рівного ризику  $10^{-6}$ , жовті окружності – зони багатоповерхової забудови, що перетинають траєкторію руху ПС UAM.

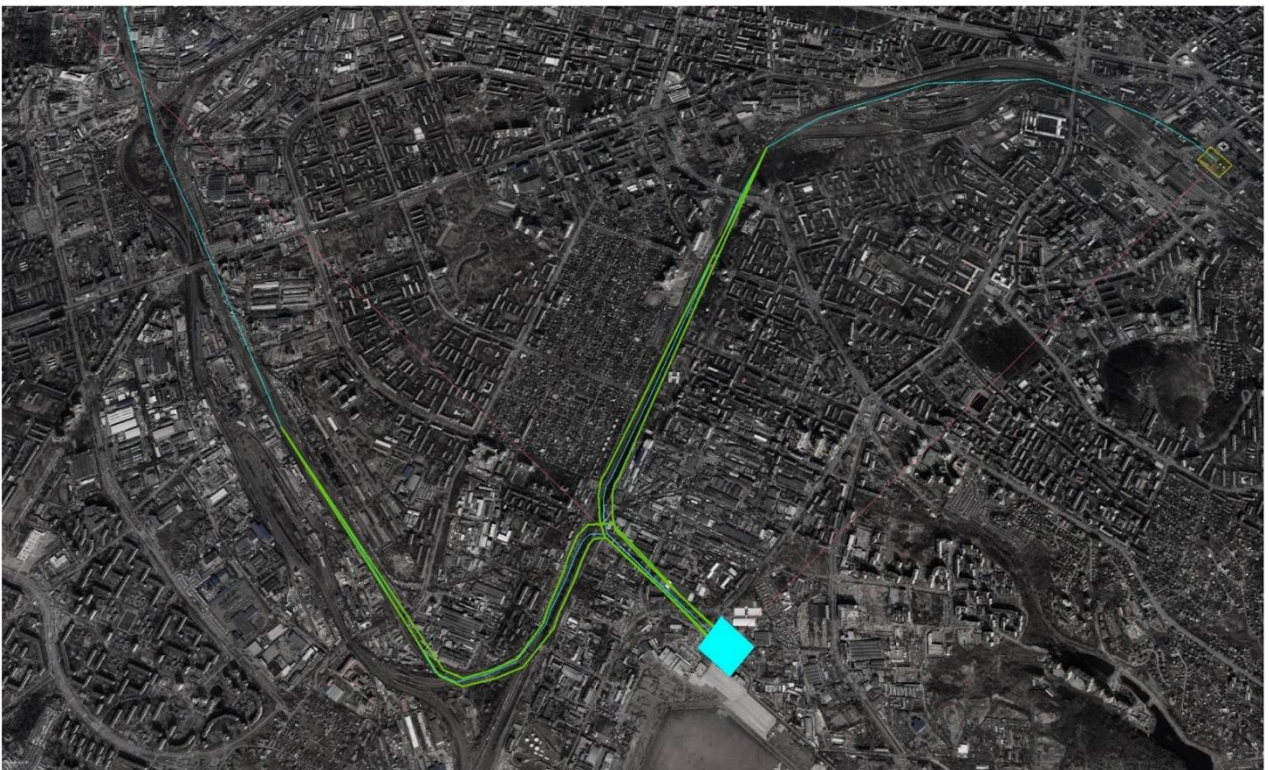


Рис. Є.6. Рівні ризику третьої сторони для Сценарію 3 поблизу Вертипорту 1: блакитний – територія вертипорту; блакитні криві – оптимізовані траєкторії руху ПС UAM (Track 1X та 2X), салатовий – контур рівного ризику  $10^{-6}$ .