

БОЙКО НАТАЛІЯ

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-6962-9363>

e-mail: Nataliya.i.boyko@lpnu.ua

МАГЕРОВСЬКИЙ ДМИТРО

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-0640-7827>e-mail: [Dmytro.v.maherovskiy@lpnu.ua](mailto:Dmytro.v.maherovskiy@lpnu.ua)

## КОНЦЕПЦІЯ «ЗОНІНГУ СКИДУ» НЕКЕРОВАНОВОГО ОБ'ЄКТУ З БПЛА ЯК СПОСІБ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПОДОЛАННЯ СИМУЛЯТОРНОЇ ХВОРОБИ ВІДПОВІДНО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПЕРАТОРІВ FPV ДРОНІВ

У статті описано потенційні проблеми із здоров'ям які можуть виникнути у людей що регулярно використовують засоби віртуальної реальності. Особливий акцент зроблено на проблемах із здоров'ям дотичних до використання окулярів віртуальної реальності (HMDs), а також зведено проблеми які можуть завадити ефективності роботи оператора FPV дрона, який фактично використовує віртуальну реальність, в першу чергу окуляри віртуальної реальності, за основу. Описано чинники виникнення проблем зі здоров'ям операторів дронів, а також графік зниження ефективності працівника в залежності від ступеню дезорієнтації оператора дрона та пов'язані із цим ризики для оточуючих. З метою подолання проблем пов'язаних із тривалою роботою у FPV-шоломі під час роботи над задачею скиду об'єкта з БПЛА запропоновано концепцію «зонінгу скиду БПЛА». Ця концепція повинна дати можливість оператору БПЛА на перепочинок коли точно відомо що БПЛА може виконати задачу скиду без ризику для оточуючих. Концепція передбачає поділ «мапи» оперативної роботи БПЛА на 3 зони: зону автоматичного скиду, зону напіваавтоматичного скиду, а також зону заборони скиду. Описано стратегії автоматизованого повернення БПЛА до оператора. Описано стратегії опрацювання надзвичайних ситуацій, таких як клин механізму скиду об'єкта. З метою уникнення подібних проблем, запропоновано healthcheck-механізм. Концепція «зонінгу скиду БПЛА» спрямована на покращення виконання задачі завдяки більшому залученню ШІ до процесу управління БПЛА, коли оператор не має змоги здійснювати пряме управління, або управління з допомогою методів та засобів штучного інтелекту показує більш ефективний результат, або ж забирає фактор помилки оператора у забороненій зоні для скиду.

Ключові слова: віртуальна реальність (VR), окуляри віртуальної реальності (HMD), дезорієнтація, ефективність виконання роботи, БПЛА, зонінг скиду, автоматизований скид з БПЛА, автоматизоване повернення до оператора, healthcheck

BOYKO NATALIYA, MAHEROVSKYI DMYTRO

Lviv Polytechnic National University

## THE CONCEPT OF "DROP ZONING" OF AN UNMANNED OBJECT FROM UAV AS A WAY TO OVERCOME THE PROBLEM OF SIMULATION SICKNESS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF FPV DRONE OPERATORS ACCORDINGLY

The article describes the potential health problems that can arise within people who regularly use virtual reality tools. Special attention is paid to the health issue related to the usage of head mounted displays (HMD) technology and summarizes the problems that can interfere with the efficiency of the FPV drone operator who uses virtual reality, head mounted displays at the first place, as a basis. The factors causing health problems of drone operators are described, as well as the efficiency decrease of the drone operator and associated risks for other people depending on the degree of disorientation. In order to overcome the problems associated with long-term work in an FPV helmet for operators which are working on the task of dropping an object from a UAV, the concept of "UAV drop zoning" is proposed. This concept should give the UAV operator the opportunity to rest when it is known for sure that the UAV can perform the object dropping task without any risk to others. The concept envisages the division of the "map" of the operational operation of the UAV into 3 zones: automatic drop zone, semi-automatic drop zone, and a no-drop zone as well. Strategies for the automated return of the UAV to the operator are described. Strategies for handling emergency situations such as a wedge of an object mechanism are described. In order to avoid similar problems, the healthcheck mechanism is proposed. Concept of automatic drop zoning is aimed at improving the performance of the task due to the greater involvement of AI in the UAV control process, when the operator is not able to perform direct control, or control with the help of methods and tools of an artificial intelligence is showing a more effective result or takes off the operator's error factor in the forbidden zone for aerial drop.

Keywords: virtual reality (VR), Head Mounted Displays, (HMD), disorientation, work efficiency, UAV, drop zoning, automated drop from UAV, automated return to operator, healthcheck

### Постановка проблеми

VR (віртуальна реальність) – набір зображень і звуків, створюваних комп'ютером, які, емулюють представлення місця або ситуації, в якій людина може брати участь [1].

Технологія VR набула поширення у 90-х роках 20 століття, та широко використовується зараз. Основні сфери застосування – навчання, управління механізованими системами, сфера розваг. Попри те, що VR-технології надають різне представлення зображення, найбільш перспективним і використовуваним на момент написання статті вважається шолом віртуальної реальності (HMD).

HMD – це невеликі дисплеї чи проєкційні технології, інтегровані в окуляри або встановлені на шолом чи капелюх. Їх є декілька варіацій. Наприклад, дисплеї Head-up — це тип HMD, який не блокує зір

користувача, але накладає зображення на реальний світ, який користувач бачить. Новою формою хедз-ап-дисплея є ретинальний дисплей, який «малює» картинку безпосередньо на чутливій частині сітківки ока користувача. Незважаючи на те, що зображення здається на екрані на ідеальній відстані для перегляду користувача, насправді перед користувачем немає екрана, лише спеціальна оптика (наприклад, модифіковані окуляри), яка відображає зображення назад в око. Деякі HMD включають датчики руху для визначення напрямку та руху (наприклад, для надання контекстно-залежної географічної інформації) або як інтерфейс до програми віртуальної реальності з ефектом занурення [2].

У випадку роботи із БПЛА – розглядають окремих вид управління такими пристроями – FPV (вид від першої особи). Фактично, оператор безпілотного апарата з допомогою методів та засобів віртуальної реальності сам стає безпілотним апаратом, і бачить світ так, як би бачив його безпілотник. Найчастіше для FPV польотів використовують HMD.



Рис. 1. Окуляри віртуальної реальності для FPV-управління БПЛА

Застосування FPV у сучасних умовах фактично є безмежним. Його використовують для наукових досліджень, в аргокультурному секторі, для порятунку людей з-під завалів, під час повеней, тощо. FPV дрони виконують функцію криголамів, так ними знищують уламки льоду на воді з метою забезпечення безпеки судноплавства [3]. Також широке поширення FPV мають у військовій сфері.

В умовах проведення пошуково-рятувальних робіт, або ж у прикладі із айсбергом, оператор безпілотного апарату може перебувати у повітрі велику кількість часу, що в свою чергу може приносити проблеми зі здоров'ям у оператора, а також знижувати ефективність його роботи. Дослідження що до впливу VR на здоров'я було проведено ще у 90-х роках 20 століття. Попри розвиток технологій протягом останніх 20 років, принцип роботи VR не зазнав суттєвих змін, тому дані дослідження все ще актуальні.

#### Аналіз останніх джерел

Запровадження пристроїв віртуальної реальності викликало у людей фізичні, фізіологічні та психологічні проблеми, що були загострені технологічними обмеженнями екранів того часу. Також важливою є постановка задачі. Від так, задача відстеження цілі, що є достатньо поширеною для FPV дронів, може викликати значний рух голови, а отже є більш незручним та вимогливим ніж задача читання тексту, яка, в свою чергу, потребує незначного руху голови. Так, потенційні фактори проблем що виникають під час роботи із VR, представлено у таблиці 1 [4].

Таблиця 1

#### Потенційні фактори, пов'язані з хворобливим станом у віртуальних середовищах

Індивідуалістичні	VR/симулятор	Задача
Вік	Бінокулярний вид	Політ над місцевістю
Рівень концентрації	Калібрування	Кут контролю
Етнічна приналежність	Колір	Тривалість
Досвід із задачею поза VR	Міжочна відстань	Глобальний візуальний потік
адаптація	Контрастність	Рух головою
Поріг частоти злиття мерехтіння	Поле зору	Рівень яскравості
Стать	Мерехтіння	Незвичні маневри
Особисті хвороби	Затримка зображення	Швидкість лінійного або обертового прискорення
Ментальні особливості	Частота мерехтіння	Спосіб руху
Перцептивний стиль	Сцена	Сидіння/стояння
Постава	Область перегляду	Векція

Якщо взяти до уваги, що ці фактори причетні лише до виникнення симуляторної хвороби, стає зрозуміло, що генезис симптомів може бути наслідком надзвичайно складної взаємодії між факторами в кожній із трьох областей, представлених вище.

Якщо говорити про задачу скиду об'єкта з FPV БПЛА – то можна відзначити наступні чинники впливу на здоров'я оператора.

З таблиці 2 випливає, що шанс отримати симуляторну хворобу у оператора БПЛА є високим, оскільки на його роботу впливає великий відсоток факторів від визначених у таблиці 1, а отже згідно правил комбінаторики існує велика кількість варіантів їх поєднання.

Таблиця 2

**Фактори, що впливають на хворобливий стан оператора FPV-дрона**

Індивідуалістичні	VR/симулятор	Задача
<u>Вік</u>	<u>Бінокулярний вид</u>	<u>Політ над місцевістю</u>
<u>Рівень концентрації</u>	<u>Калібрування</u>	<u>Кут контролю</u>
Етнічна приналежність	<u>Колір</u>	<u>Тривалість</u>
<u>Досвід із задачею поза VR адаптація</u>	<u>Міжочна відстань</u>	Глобальний візуальний потік
<u>Поріг частоти злиття мерехтіння</u>	<u>Контрастність</u>	<u>Рух головою</u>
Стать	<u>Поле зору</u>	<u>Рівень яскравості</u>
<u>Особисті хвороби</u>	<u>Мерехтіння</u>	<u>Незвичні маневри</u>
Ментальні особливості	<u>Затримка зображення</u>	<u>Швидкість лінійного або обертального прискорення</u>
Перцептивний стиль	<u>Частота мерехтіння</u>	Спосіб руху
<u>Постава</u>	<u>Сиена</u>	Сидіння/стояння
	Область перегляду	Векція

Можливі побічні ефекти від використання VR, можна розділити на три основні напрямки. Дані ефекти представлено у таблиці 3 [4].

Таблиця 3

**Побічні ефекти від використання VR**

Фізичні	Фізіологічні	Психологічні	
		Поведінкові	Когнітивні
Фізичний дискомфорт Травми	зорові астенотичні симптоми постуральна нестабільність хвороба симулятора	Стрес Залежність Ізоляція Різкі зміни настрою	Зрушення сприйняття і дезорієнтація
Неприродні вимоги до постави	дисоціація акомодаци/конвергенції зміни серцево-судинної системи, біохімічні зміни		Зміна психомоторних показників

З поміж чинників що впливають на ефективність роботи оператора БПЛА (беручи до уваги що людина є професійно навченою), можна відзначити вплив когнітивних чинників. Так, було проведено експерименти, де чинником дезорієнтації було носіння респіраторної маски [5] – вплив на ефективність роботи зображено на рисунку 2.

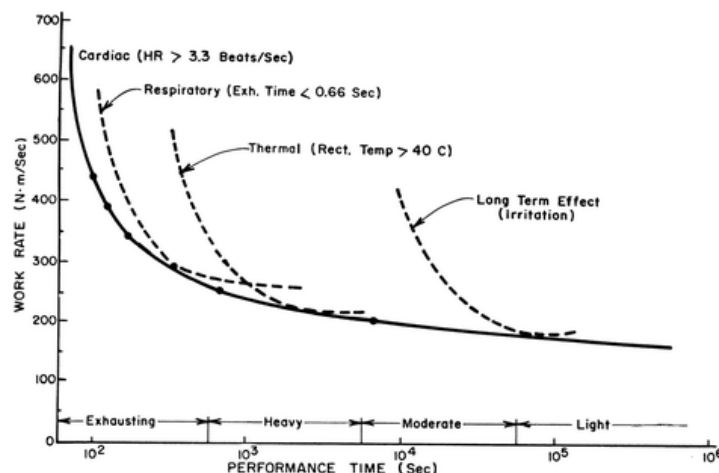


Рис. 2. Вплив дезорієнтації (втоми) на ефективність роботи

З рисунку 2 можемо зробити висновок, що ефективність праці має тенденцію падати у 3.5 рази (WORK RATE), натомість час за який відбувається наступна фаза зниження ефективності лише прискорюється (PERFORMANCE TIME). У випадку використання літального засобу, втрата орієнтації також може призвести до помилок в польоті, і, у випадку із задачею скиду об'єкта з БПЛА – до помилкових скидів, в гіршому випадку – до повної втрати літального апарата. Також науково доведено, що використання VR окулярів призводить до проблем із зором – втоми очей і зорової хвороби руху (VIMS) [6]. Проведене дослідження представлено на рис. 3.

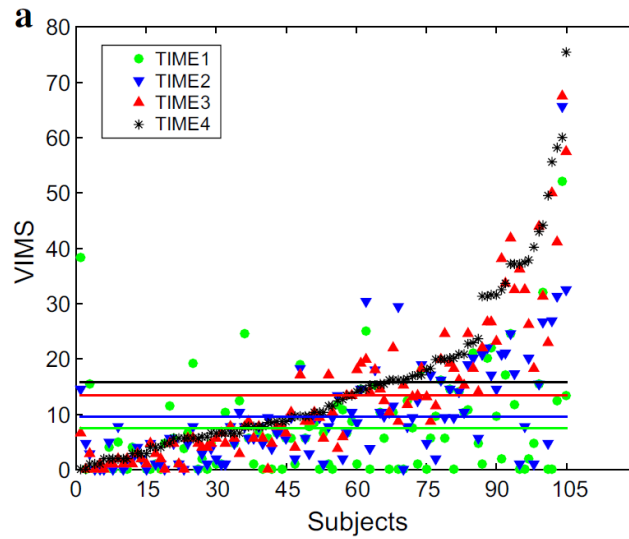


Рис. 3. Вплив часу на прояви проблем із зором у фокус-групи

З графіку випливає, що рівень втоми очей у всіх 105 суб'єктів підвищився з плином часу під час проведення основного експерименту, що було викликано переглядом дисплея HMD. З цього робимо висновок, що окрім фактору дезорієнтації, на ефективність роботи оператора БПЛА впливає і безпосередньо екран його FPV шолома.

**Виклад основного матеріалу**

Очевидним рішенням проблеми втоми операторів БПЛА є необхідність робити перерви в роботі, проте на це не завжди є можливість, а також це не завжди є достатньо ефективно (наприклад у справі порятунку людей з-під завалів тощо). Конкретно для задачі скиду об'єкту з БПЛА, запропоновано концепцію «зонінгу скиду БПЛА». Загалом, процес автоматизованого скиду з БПЛА можна схематично зобразити наступним чином:

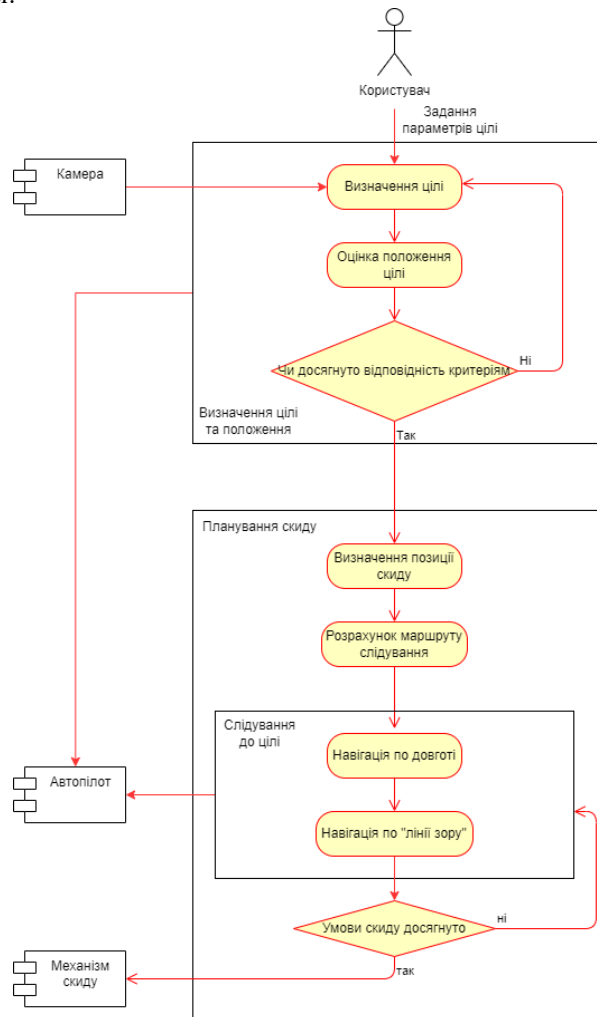


Рис. 4. Діаграма діяльності підсистеми наведення та скиду з БПЛА

Від так, за умови що ризик помилкового скиду об'єкта в операційній зоні БПЛА є мінімальний або відсутній – можна зняти навантаження з оператора БПЛА – дати можливість дрону самостійно визначати та вражати ціль (наприклад айсберг в океані де немає руху суден).

Концепція зонінгу скиду БПЛА передбачає поділ «мапи» оперативної роботи БПЛА на 3 зони: автоматичного скиду, напівавтоматичного скиду, і також зона заборони скиду. Наочне представлення концепції знаходиться на рисунку 5.

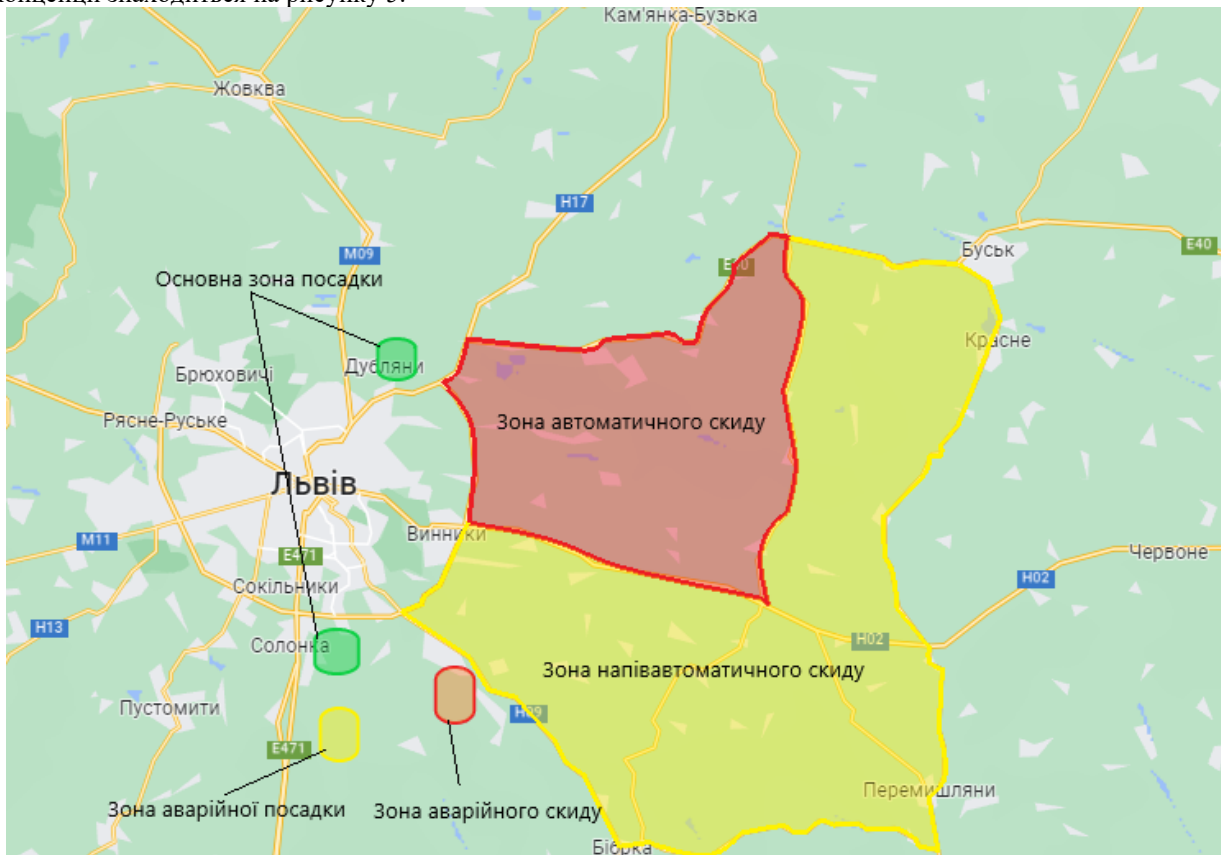


Рис. 5. Концепція зонінгу скиду БПЛА

Зона автоматичного скиду – це зона, де рішення про скид об'єкта приймається в автоматизованому режимі, або під контролем оператора.

Зона напівавтоматичного скиду – рішення про скид в даній зоні приймає винятково оператор, автоматизований скид виключений.

Зона заборони скиду – скид об'єкта в даній зоні захищений. Рішення про скид об'єкта можливий виключно за рахунок застосування спеціального ключа. Скид в даній зоні можливий за умови несправності БПЛА або різкої зміни обставин, що не дозволяють оперативно внести зміни до зон. Прикладом ситуації, коли скид об'єкта з БПЛА є необхідним, може бути відмова двигуна, елерона, або іншого пристрою; потрапляння в шторм, грозу, різка зміна напрямку вітру тощо – якщо зберігатиметься можливість, що БПЛА долетить до зони посадки із наявним пошкодженням і/або погодними умовами.

У випадку із механізованими системами, такими як БПЛА, є ймовірність відмови механічних елементів конструкції. У випадку БПЛА, що переносить вибухівку, критичним елементом є механізм скиду – пускова установка. У випадку виходу даного елемента з ладу, на небезпеку наражаються як оператор БПЛА, так і цивільні об'єкти, що знаходяться в зоні заборони скиду. Прикладом елемента що може відмовити у механізмі скиду, є сервопривід (рис. 4). Неробочий сервопривід призведе до того що скоба не розімкнеться і об'єкт що скидається залишиться висіти на БПЛА попри надану команду. У пристроя, що зображено на рисунку, механізм моніторингу помилки скиду відсутній – у випадку відмови помилку не буде залоговано та висвітлено оператору.

З урахуванням даної особливості, стратегія повернення БПЛА до оператора такого включатиме в себе зони:

- Зона штатної посадки – у випадку успішного скиду, БПЛА повертається на зону успішної посадки та сідає у штатному режимі.
- Зона позаштатної посадки – у випадку неуспішного скиду, БПЛА повертається до спеціально підготовленої зони, та здійснює аварійну посадку в місці, убезпеченого для персоналу.
- Зона резервного скиду – БПЛА спробує скинути об'єкт, що переносить, в облаштованій для цього зоні. В разі успішного виконання операції – буде забезпечено повернення у зону штатної посадки.

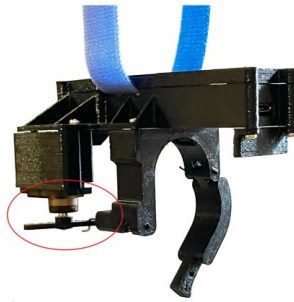


Рис. 6. Приклад елемента що може відмовити у механізмі скиду

Приклад зон посадки зображено на рис. 5.

З метою визначення, куди буде відбуватися посадка, БПЛА потребує наявності healthcheck-механізму. Метою даного механізму буде перевірка наявності об'єкта що транспортувався у пусковій установці після того як відбувся скид, коли БПЛА залетів в зону заборони скиду після перебування в зонах, де дозволено скид. Інженерно, цей пристрій може бути сконструйовано за принципом ваг, замикання електричного контуру, тощо [7].

Нижче наведено схематичне представлення підходу до посадки БПЛА:

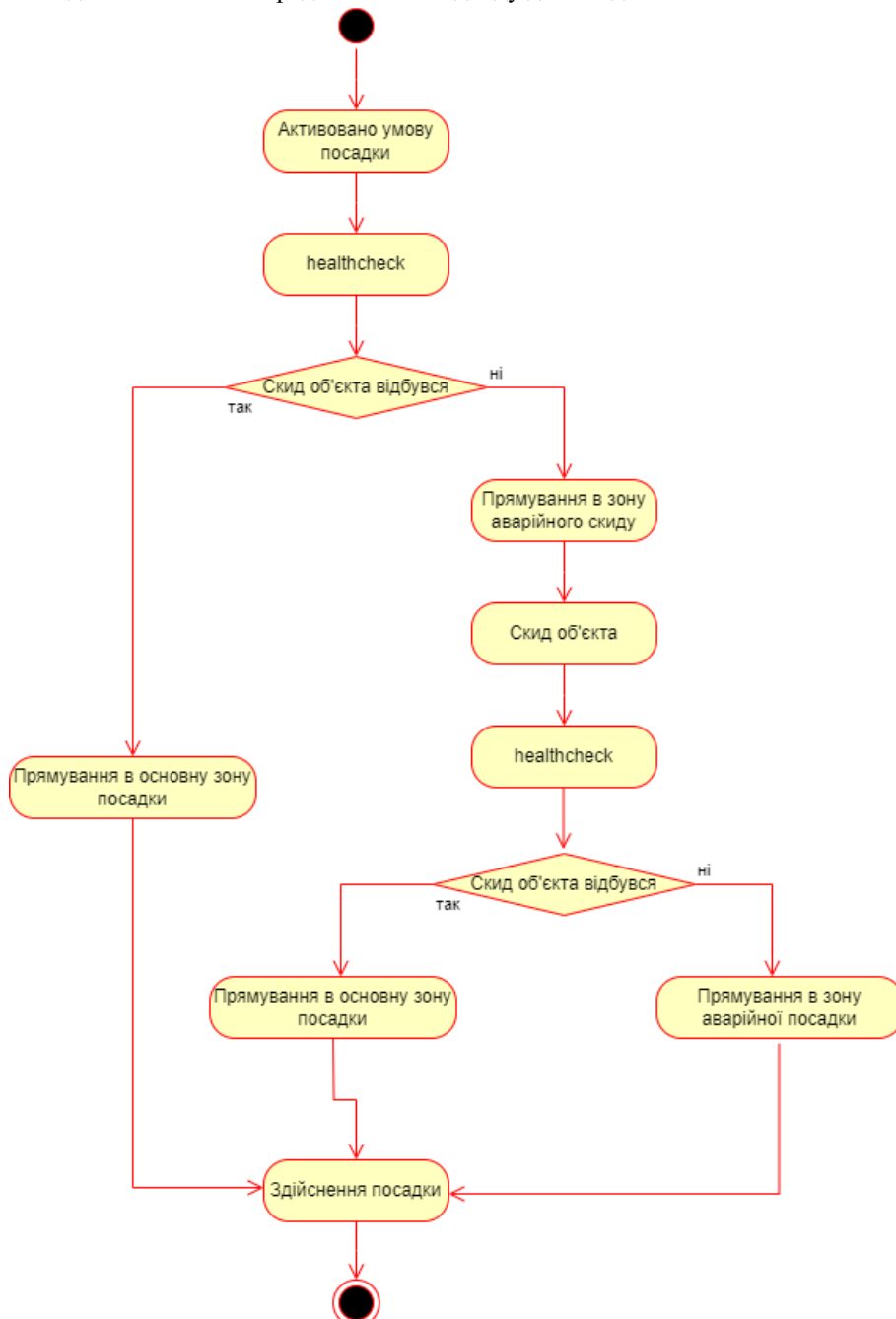


Рис. 7. Діаграма діяльності «Алгоритм посадки БПЛА»

Перевагою підходу із виділенням зон роботи БПЛА можна визначити те, що штучний інтелект може працювати по-різному у різних умовах. Так, в умовах автоматичної роботи, БПЛА буде виконувати задачу попри проблеми які можуть виникнути у операторів. Натомість в інших умовах – БПЛА буде перевірятися оператором, що вирішить проблему помилкових скидів у невстановлених місцях, або інших фатальних помилок. Зона заборони скиду, в свою чергу, дасть додатковий захист від помилок оператора що виснажений: БПЛА не буде наносити шкоду там, де це не передбачено.

Недоліками підходу є:

- Підвищені вимоги до апаратного забезпечення БПЛА;
- Імплементация альтернативних способів визначення контурів зон скиду, за умови відсутнього GPS-сигналу.

### Висновки

У підсумку робота була спрямована на опис проблем зі здоров'ям що можуть виникнути у професійного оператора FPV-дрона, проблем із ефективністю роботи оператора що займається скидом об'єктів, а також проблеми помилкового скиду в забороненій зоні.

Підвищення автономності БПЛА що скидають об'єкт можливе і допустиме за умови забезпечення безпеки для оператора а також людей/об'єктів, в зоні яких буде оперувати даний БПЛА.

Концепція «зонінгу скиду БПЛА» дозволить підвищити ефективність окремо взятого оператора за рахунок надання можливості перепочинку від ефектів віртуальної реальності, а також окулярів що містять екрани розташовані в безпосередній близькості від очей оператора. Це, в свою чергу, дозволить уникнути ситуацій, коли хибне розпізнавання об'єкта призводить до руйнівних або фатальних наслідків через падіння вантажу БПЛА у невстановленому місці. Зони автоматичної посадки БПЛА дозволять уникнути таких наслідків за умови несправності механізму скиду безпілотної засоби.

Бонусом підходу також є те, що оперуючи ситуацією з допомогою машинного зору, БПЛА матиме можливість повернутися до місця початку операції за умов проблем із сигналом або іншою несправністю пов'язаною із управлінням БПЛА.

Додаткові дослідження в цій сфері можуть базуватися на проблемах які додаються із автоматизацією дрона, таких як машинний зір, розпізнавання меж та образів, проблема аеронавігації за умови відсутнього GPS сигналу, зниження вартості запропонованого рішення, тощо.

### Література

1. Miller J. O., Adkins J. Types of drones for field crop production. University of Delaware: Fact sheets and publications. 2018. <https://www.udel.edu/academics/colleges/canr/cooperative-extension/fact-sheets/types-of-drones-for-field-crop-production>
2. Silver B., Mazur M., Wiśniewski A. and Babicz A. Welcome to the era of drone-powered solutions: a valuable source of new revenue streams for telecoms operators: Communications Review. PwC. 2017. <https://www.pwc.com/gx/en/communications/pdf/communications-review-july-2017.pdf>
3. 9,7 billion on Earth by 2050, but growth rate slowing, says new UN population report. UN News. 2019. <https://news.un.org/en/story/2019/06/1040621>
4. Agriculture Drones Market with COVID-19 Impact Analysis, by Application (Precision Farming, Livestock Monitoring), Offering, Farming Environment, Farm Produce, Component, and Geography – Global Forecast to 2025. Markets and Markets Research. 2020. <https://www.marketsandmarkets.com/MarketReports/agriculture-drones-market-23709764.html>
5. Agriculture drones market – growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2022–2027). Mordor Intelligence. 2021. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/agriculture-drones-market>
6. Agriculture Drone Market Worth USD 3,697.4 Million by 2027; Leading Companies Such as DJI and GoPro to Focus on Developing Next-Gen Drones for the Agriculture Industry, Says Fortune Business Insights™. Fortune Business Insights. 2021. <https://www.globenewswire.com/newsrelease/2021/10/18/2315910/0/en/Agriculture-Drone-Market-Worth-USD-3-697-4-Million-by-2027-Leading-Companies-Such-as-DJI-and-GoPro-to-Focus-on-Developing-Next-Gen-Drones-for-the-Agriculture-IndustrySays-Fortune-.html>
7. Where is Artificial Intelligence Used Today? <https://becominghuman.ai/where-is-artificial-intelligence-used-today-3fd076d15b68>
8. Top 9 ethical issues in artificial intelligence. <https://www.weforum.org/agenda/2016/10/top-10-ethical-issues-in-artificial-intelligence>
9. How does a drone's autonomous flight system work. <https://ts2.space/en/how-does-a-drones-autonomous-flight-system-work/>
10. A brief history of drones: from pilotless balloons to roaming killers. <https://interestingengineering.com/innovation/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
11. History of unmanned aerial vehicles. [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_unmanned\\_aerial\\_vehicles](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles)