

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ФОРМУВАННЯ ТРАС ПОЛЬОТУ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПІД ЧАС ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ОКРЕМОЇ МІСЦЕВОСТІ, ДЕ СТАЛОСЯ НАДЗВИЧАЙНА ЕКОЛОГІЧНА СИТУАЦІЯ

Ю. В. Захарченко¹, Г. В. Іванець², М. Г. Іванець³, В. Д. Калугін², В. В. Тютюник²¹ДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», Харків, Україна²Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна³Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

УДК 351.861+504.75

DOI: 10.52363/2522-1892.2022.1.4

Отримано: 15 березня 2022

Прийнято: 7 квітня 2022

Cite as: Zakharchenko Ju., Ivanets H., Ivanets M., Kalugin V., Tiutiunyk V. (2022). Formation of flight trajectories of unmanned aerial vehicles during operational monitoring of certain territory of an environmental emergency. Technogenic and ecological safety, 11(1/2022), 23–33. doi: 10.52363/2522-1892.2022.1.4

Анотація

З метою підвищення ефективності функціонування єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДСЦЗ) щодо мінімізації втрат, а також недопущення виснаження чи знищення окремих природних комплексів та ресурсів внаслідок надмірного забруднення навколишнього природного середовища, руйнівного впливу стихійних сил природи та інших факторів, що обмежують або виключають можливість життєдіяльності людини та провадження господарської діяльності в цих умовах, в роботі (на прикладі, розгляду питань проведення розвідки та уточнення параметрів зони забруднення місцевості небезпечними хімічними речовинами) наведено результати подальшого розвитку науково-технічних основ реалізації системи оперативного моніторингу окремої місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація, за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Для цього, встановлено, що головним критерієм ефективності використання БПЛА є час проведення моніторингу окремої місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація. Цей час визначається як характеристиками БПЛА, так і формуванням траси його польоту.

В роботі запропонована методика формування траси польоту при проведенні розвідки та уточнення параметрів зони зараження місцевості небезпечними хімічними речовинами одним БПЛА та при використанні групового польоту БПЛА. В результаті дослідження встановлено, що при груповому варіанті моніторингу окремої місцевості БПЛА час польоту значно скорочується, що доводить ефективність організації такого варіанта моніторингу окремої місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація.

Ключові слова: надзвичайна екологічна ситуація, моніторингу окремої місцевості, зона хімічного забруднення, безпілотний літальний апарат, траса польоту.

1. Постановка проблеми.

В останнє десятиліття у всьому світі спостерігається стійка тенденція щодо збільшення кількості та масштабів надзвичайних ситуацій (НС), які спричинені катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією та характеризуються порушенням нормальних умов життєдіяльності населення [1–5].

Одними із значимих збитків від НС різного характеру, що потребують застосування надзвичайних заходів з боку держави, є негативні зміни в навколишньому природному середовищі, які призводять до виникнення надзвичайної екологічної ситуації (див. рис. 1) [6].

В Україні для забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту функціонує ЄДСЦЗ [7–9], одним з актуальних напрямків підвищення ефективності функціонування якої є забезпечення стану стабільного функціонування природно-техногенно-соціальної системи України

в умовах надмірного забруднення навколишнього природного середовища, що призводить до втрат, виснаження чи знищення окремих природних комплексів та ресурсів.

Ефективність проведення заходів щодо ліквідації наслідків надзвичайних екологічних ситуацій залежить від своєчасного прогнозування, розвідки та уточнення зон місцевості, де сталися негативні зміни в навколишньому природному середовищі. Одним із перспективних напрямків розв'язання цієї проблеми є застосування БПЛА для доставки автоматизованих пристроїв контролю в зону місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація. Для проведення моніторингу цієї зони можуть використовуватися один або декілька БПЛА.

Таким чином, розробка підходу щодо формування траси польоту БПЛА над зоною місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація, з метою скорочення часу виконання поставлених завдань, є актуальною науково-прикладною задачею.

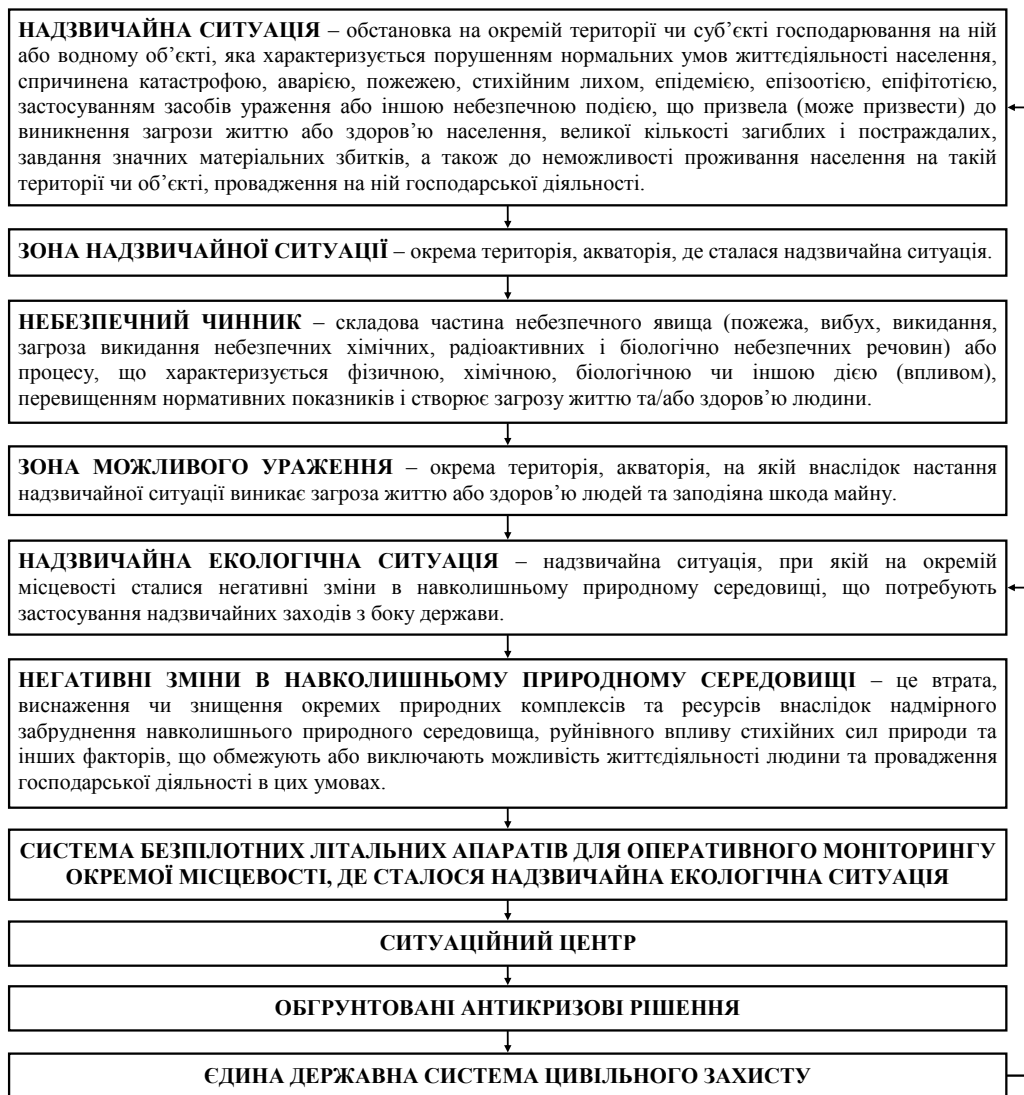


Рисунок 1 – Схема комплексного функціонування системи безпілотних літальних апаратів, ситуаційного центру та єдиної державної системи цивільного захисту в умовах виникнення надзвичайних екологічних ситуацій

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій.

В роботах [10–20] показано, що на сьогоднішній день в світі широко використовується БПЛА для вирішення народногосподарських завдань, а саме: контроль стану великих лісових господарств; моніторинг безпеки на автошляхах; повітряне супроводження вантажів; пошуково-рятувальні операції; хімічна розвідка зон зараження НХР; аерофоторозвідка тощо.

Також, в цих роботах показано, що основними перевагами застосування БПЛА є: низька вартість експлуатації; стійкість і гнучкість; проста і доступна технологія їх створення; можливість використання в тих випадках, коли використання пілотованої авіації є ризикованим.

Крім того, в роботі [21] представлено підхід і принцип оцінки ефективності покриття території НС за допомогою автоматизованих пристроїв контролю небезпечних факторів при їх розкиданні з БПЛА, за умов його зависання на малій висоті над точкою скидання. На основі результатів модельних розрахунків встановлено, що більш ефективним

способом є касетний спосіб розкидання вантажу в порівнянні з поодиноким. Для зменшення часу покриття території НС автоматизованими пристроями контролю запропоновано використовувати безпілотні авіаційні комплекси, які включають наземний центр моніторингу та декілька БПЛА. Однак в роботі не враховуються можливі нестабільності повітряного простору.

Авторами роботи [22] розглянуто підхід щодо формування алгоритму оцінки покриття території НС автоматизованими пристроями контролю небезпечних факторів при їх розкиданні з БПЛА в умовах нестабільності повітряного середовища. Але при цьому не розглядаються питання оптимального формування траси польоту БПЛА з метою скорочення проведення моніторингу території.

Для вирішення завдань в сфері цивільного захисту можуть використовуватися як поодинокі БПЛА, так і може застосовуватися групове використання БПЛА. Групове застосування БПЛА доцільне в тих випадках, коли використання одного БПЛА становиться неефективним, наприклад, при

аерофотозйомці великих територій, моніторингу великих лісових пожеж, хімічної розвідки заражених територій НХР великої глибини тощо.

На сьогоднішній день БПЛА виробляються в 52 країнах світу, в тому числі і для виконання різноманітних завдань в галузі екологічної безпеки [23]. Так, очевидні переваги використання групи БПЛА для моніторингу зони, де сталося надзвичайна екологічна ситуація, це швидка площа покриття фрагменту місцевості і як наслідок більш ефективна оцінка екологічного стану місцевості та значне скорочення часу її проведення в порівнянні з використанням одного БПЛА [24].

Питанням застосування неоднорідної групи, яка включає БПЛА як вертолітного, так і літакового типу, присвячена робота [25]. Автор відзначає складність задач щодо управління такою групою БПЛА і неефективність застосування класичної теорії керування. Це пов'язано зі складним характером інформаційного обміну та взаємодією елементів системи між собою.

Можливий підхід до автоматичного формування на електронній карті траси польоту БПЛА при проведенні фотографічної розвідки місцевості розглянуті в роботі [26]. Авторами запропонована методика розрахунку інтегральної зони обмежень на польоти літального апарату за допомогою оверлейних операцій та буферного аналізу, які виконуються у геоінформаційній системі.

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел показує, що питання формування траси польоту БПЛА над зоною місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація не достатньо висвітлені в сучасній літературі.

3. Постановка завдання та його вирішення.

Метою цієї роботи є розробка (на прикладі, розгляду питань проведення розвідки та уточнення параметрів зони забруднення місцевості небезпечними хімічними речовинами) підходу щодо формування траси польоту БПЛА над зоною місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація.

В рамках поставленої мети запропоновано вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз особливостей прогнозування зони забруднення місцевості небезпечними хімічними речовинами.

2. Розробити методику формування траси польоту поодиноких БПЛА та групи БПЛА при проведенні розвідки та уточнення параметрів зони забруднення місцевості небезпечними хімічними речовинами.

3. Провести експериментальні дослідження варіантів організації розвідки зон забруднення місцевості небезпечними хімічними речовинами при використанні БПЛА.

Мета роботи досягається тим, що безперервний та тривалий у реальному масштабі часу оперативний моніторинг за зоною місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація здійснюється за рахунок:

а) сумісного об'єднання у систему моніторингу БПЛА та стаціонарних наземних постів моніторингу;

б) оперативної доставки у зону місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація БПЛА;

в) здійснення за допомогою БПЛА безперервного та тривалого у реальному масштабі часу моніторингу за зоною місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація;

г) отримання й обробки інформації від стаціонарних наземних постів моніторингу та БПЛА диспетчерським пунктом, який розташовано на наземній рухомій платформі (штабний автомобіль, пожежно-рятувальний автомобіль, автомобіль патрульної поліції, автомобіль радіаційної, хімічної та біологічної розвідки, бронетранспортер, машина військової розвідки, тягач тощо) [16, 21, 22, 27].

Функціональну схему цієї системи оперативного моніторингу за зоною місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація представлено на рис. 2. Вона включає класичну підсистему моніторингу, ситуаційний центр та підсистему виконання рішення [28, 29].

При розгляді питань проведення розвідки та уточнення параметрів зони забруднення місцевості НХР, необхідно наголосити на тому, що в Україні функціонує 1810 об'єктів господарювання, на яких зберігаються або використовуються у виробничому процесі понад 283000 тон НХР, у тому числі – 9800 тон хлору та 178000 тон аміаку.

Аварії на цих об'єктах можуть призвести до хімічного забруднення території сумарною площею понад 65700 км², а в зонах можливого хімічного зараження від цих об'єктів проживає близько 20 000 000 осіб.

До хімічно небезпечних об'єктів (ХНО) відносяться:

– заводи і комбінати хімічних галузей промисловості, а також окремі установки та агрегати, що виробляють (використовують) НХР;

– заводи (їх комплекси) з переробки нафтопродуктів; технології і виробництва інших галузей промисловості, що використовують НХР;

– підприємства, що мають на оснащенні холодильні установки, водонапірні станції та очисні споруди, що використовують хлор або аміак;

– залізничні станції і порти, де концентрується продукція хімічних виробництв, термінали і склади на кінцевих пунктах переміщення НХР;

– транспортні засоби, контейнера і наливні потяги, автоцистерни, річкові і морські танкери, що перевозять хімічні продукти;

– склади і бази, на яких зберігаються запаси речовин для дезінфекції, дератизації сховищ для зерна і продуктів його переробки;

– склади і бази із запасами отрутохімікатів для сільського господарства; трубопровідний транспорт.

Одним з важливих заходів у забезпеченні хімічної безпеки населення в умовах впливу чинників хімічної природи при аваріях (руйнуваннях) на підприємствах (об'єктах) з виробництва, зберігання або транспортування НХР є хімічна розвідка.

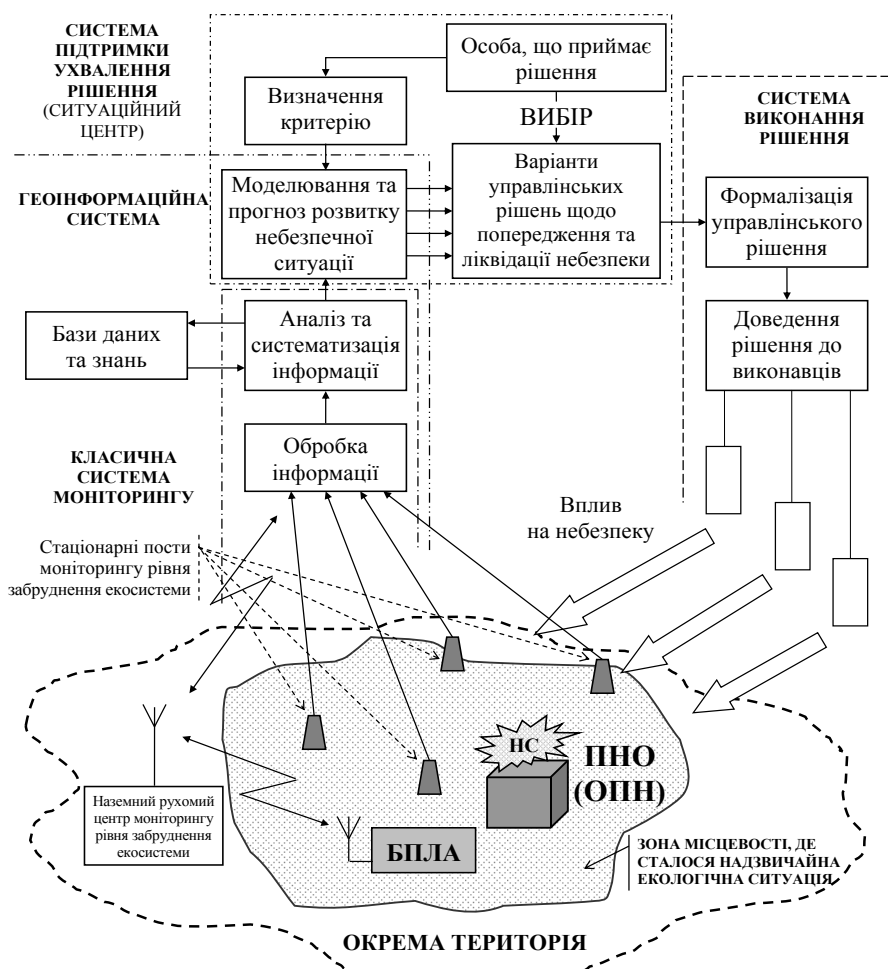


Рисунок 2 – Комплексна функціональна схема системи БПЛА для оперативного моніторингу за зоною місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація

Метою проведення хімічної розвідки є своєчасне виявлення типу і виду НХР і часу дії їх небезпечних концентрацій, оповіщення особового складу ДСНС та населення про хімічне забруднення та необхідність проведення заходів захисту. Задачі хімічної розвідки полягають у: виявленні факту хімічного забруднення місцевості і повітря, оповіщення про це формування ДСНС та населення (визначення типу і концентрації НХР); встановлення меж забруднених районів, пошук зон з найменшими рівнями хімічного забруднення і встановлення маршрутів обходу зон небезпечно забруднення; контроль за зміною ступеня хімічного забруднення місцевості і повітря для встановлення часу зниження концентрації НХР у зовнішньому середовищі до безпечних величин.

Основою хімічної розвідки є індикація НХР, яка здійснюється за допомогою засобів періодичного і безперервного контролю зараженості повітря, техніки, води, продовольства, обмундирування, засобів індивідуального захисту особового складу та іншого. При цьому індикація – це комплекс організаційних і технічних заходів, які спрямовані на якісне виявлення, кількісне визначення (встановлення концентрації і щільності забруднення) і ідентифікацію хімічної природи НХР в різних середовищах.

Небезпека функціонування ХНО пов'язана з ймовірністю аварійних викидів (випливів) великої кількості НХР за межі об'єктів, оскільки на багатьох із них зберігається 3–15 добовий запас хімічних речовин.

Оцінка хімічної обстановки при аваріях на ХНО здійснюється у відповідності з «Методикою прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті» [30]. Методика призначена для прогнозування масштабів забруднення при аваріях з НХР на промислових об'єктах, автомобільному, річковому, залізничному і трубопровідному транспорті і може бути використана для розрахунків на морському транспорті, якщо хмара НХР при аварії на ньому може дістатися прибережної зони, де мешкає населення.

При цьому визначаються глибина поширення зараженого повітря (Γ); центральний кут сектора, у межах якого може поширюватися хмара (φ); площа зони можливого хімічного зараження (S_{3MX3}); площа і ширина прогнозованої зони хімічного зараження ($S_{ПЗХЗ}$, $Ш_{ПЗХЗ}$); час підходу зараженого повітря до об'єкта; можливі втрати; час вражаючої дії.

Вихідні дані для проведення розрахунків включають:

1. Координати ХНО, на якому сталася аварія ($X_{\text{ХНО}}$; $Y_{\text{ХНО}}$), час аварії (години, хвилини, число місяця, номер місяця), тип вилитої (викинутої) при аварії НХР (аміак, хлор, сірководень тощо) та її кількість (Q).

2. Характер розливу НХР – «вільно», «у піддон». При розливі «у піддон» вказується висота обвалування H , при розливі «вільно» $H = 0,05$ м.

3. Метеорологічні умови – швидкість $U_{\text{вітру}}$ і напрямок вітру в приземному шарі, температура повітря t° , ступінь вертикальної стійкості повітря (СВСП): інверсія, конвекція або ізотермія.

4. Особливості місцевості: наявність забудов, а також лісових масивів (далі – перешкод на шляху

розповсюдження хмари НХР (ПШРХ)). В разі наявності ПШРХ, задається її глибина $R_{\text{ПШРХ}}$ та відстань до неї від ХНО – $R_{\text{ХНО-ПШРХ}}$.

5. Середня щільність населення на місцевості (ρ), над якою поширюється хмара та забезпеченість населення засобами захисту (протигазами, простішими засобами захисту).

6. Умови розташування населення (на відкритій місцевості, в будівлях, простіших сховищах тощо).

7. Відстань до визначеного об'єкту чи населеного пункту ($R_{\text{ХНО-Об.}}$), якщо розраховується час підходу зараженого повітря до нього.

Прогнозована зона хімічного забруднення (ПЗХЗ) зображується приблизно у вигляді еліпса. На рис. 3 показано один із варіантів нанесення на карту можливої хімічної обстановки.

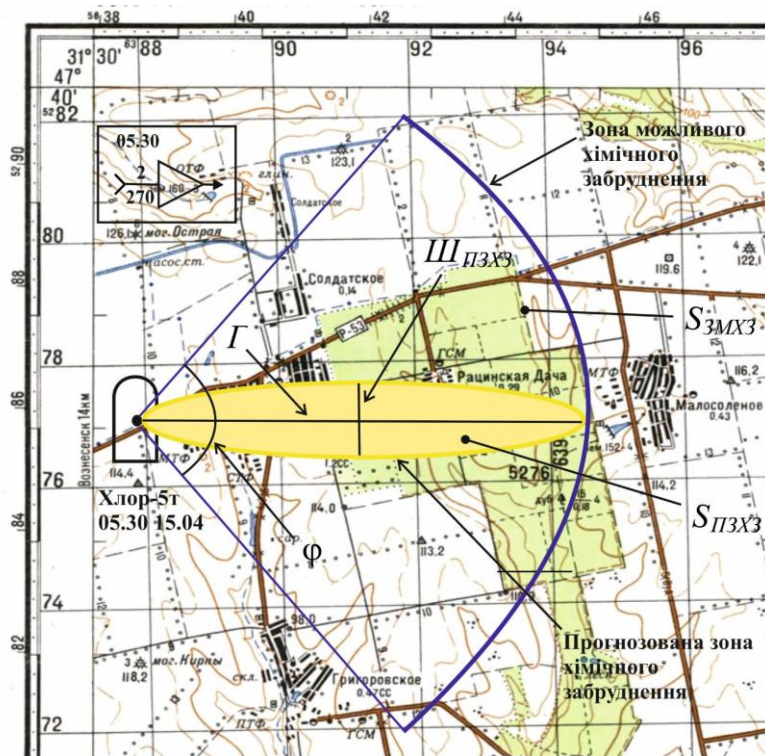


Рисунок 3 – Нанесення на карту хімічної обстановки (варіант)

Основний недолік при використанні даної методики полягає в неточності визначення параметрів зони зараження та неврахування швидкоплинності змін метеорологічних умов.

Перспективним напрямком подолання цих недоліків є використання БПЛА для проведення розвідки та уточнення параметрів зон зараження місцевості НХР. Очевидно, що головним критерієм ефективності використання БПЛА є час проведення розвідки. Час проведення розвідки визначається як характеристиками БПЛА, так і формуванням траси польоту БПЛА.

При формуванні траси польоту БПЛА щодо розвідки зон забруднення місцевості необхідно дотримуватися наступних вимог: оператор БПЛА повинен повністю виконати польотне завдання щодо розвідки зон забруднення місцевості; БПЛА повинен знаходитися на дальності радіозв'язку із

системою його керування та передачі інформації з борту літального апарату; при виконанні польоту на над малих висотах необхідно враховувати природний рельєф місцевості, висоти будівель, наявність ліній електропередач.

Вітчизняні виробники БПЛА в переважній більшості знаходяться в містах Києві та Харкові. В місті Київ найбільш відомими установами, які займаються розробкою БПЛА, є Українська авіаційна компанія «Велес» та Товариства з обмеженою відповідальністю (ТОВ) «ЮАвіа» і «Курбала», які працюють у тісній кооперації та пропонують БПЛА на базі міні-БПЛА R-100.

БПЛА на базі БПЛА R-100 може використовуватися для ведення радіаційної і хімічної розвідки, метеорологічного та екологічного моніторингу. На рис. 4 показано вид БПЛА на базі БПЛА R-100.



Рисунок 4 – Вид БПЛА на базі БПЛА R-100

В залежності від характеристик двигуна БПЛА цього типу мають основні тактико-технічні характеристики (ТТХ), наведені в табл. 1.

Можливий вигляд траси обльоту забрудненої території одним БПЛА показано на рис. 5, де R – радіус розвороту БПЛА.

При цьому слід враховувати як прогнозні дані щодо зон забруднення території НХР (одержані за допомогою Методики), так і можливості БПЛА, зокрема тривалість польоту та його швидкість. При формуванні траси польоту БПЛА зона забруднення апроксимується прямокутником зі сторонами Г і Ш_{ПЗХЗ}. Радіус розвороту літального апарату R повинен дорівнювати радіусу дії приладів контролю.

З врахуванням цього час одного циклу розвідки буде складати:

$$t_{роз.} = \frac{GR + GШ_{ПЗХЗ} + Ш_{ПЗХЗ}R}{RV}, \quad (1)$$

де V – середня швидкість польоту БПЛА.

Необхідна умова використання такої траси польоту БПЛА:

$$t_{роз.} < t_{польоту}, \quad (2)$$

де t_{польоту} – технічна тривалість польоту БПЛА у відповідності з ТТХ.

В разі неможливості проведення розвідки забрудненої території за один політ БПЛА (t_{роз.} > t_{польоту}) доцільно використовувати груповий політ БПЛА. Це дозволить значно скоротити час на виконання завдань щодо повної розвідки забрудненої території НХР.

При виборі варіанту групового польоту БПЛА (кількості та траєкторії польоту) необхідно виходити з наступних обмежень: зона забрудненої території по глибині ділиться на n однакових за глибиною частин (Г/n, n – кількість БПЛА); час обльоту кожної частини території БПЛА не повинен перевищувати тривалості польоту літального апарату; час розвідки забрудненої зони не повинен перевищувати необхідного заданого часу в цих умовах.

Так, наприклад, при застосуванні двох БПЛА зона забрудненої території по глибині ділиться навпіл, трьох – на три однакові частини, n – на n однакових частин. Можливий вигляд трас обльоту зараженої території двома БПЛА показано на рис. 6.

Можливий вигляд трас одного циклу обльоту зараженої території трьома БПЛА показано на рис. 7.

При такому виборі варіанту групового польоту однотипних БПЛА час одного циклу розвідки буде складати:

$$t_{гр.роз.} = \frac{GR + GШ_{ПЗХЗ} + Ш_{ПЗХЗ}R}{nRV}. \quad (3)$$

Таким чином, при груповому варіанті розвідки зон забруднення території БПЛА час розвідки скорочується приблизно в n раз.

При використанні для групової організації розвідки забрудненої території БПЛА різних типів час розвідки буде визначатися часом розвідки частини забрудненої зони БПЛА з найменшою швидкістю польоту.

Експериментальні дослідження варіантів організації розвідки зон забруднення території НХР при використанні БПЛА включали наступне.

Таблиця 1 – Основні тактико-технічні характеристики БПЛА на базі БПЛА R-100

Вага, кг		Швидкість (V), км/год		Стеля, м	Радіус, км	Тривалість польоту, год	Розміри, м		
Злітна	Корисне навантаження	Мінімальна	Максимальна				довжина	розмах крила	висота
одноциліндровий двигун потужністю 2,5 кінських сил (к.с.)									
14	5	45	140	2500	–	до 5	1,5	1,8	–
двоциліндровий двигун потужністю 3,5 к.с.									
17	6	50	180	3000	–	4	1,5	1,8	–
одноциліндровий двигун потужністю 6 к.с.									
25	8	60	250	5000	–	3	1,5	1,8	–
двоциліндровий двигун потужністю 12 к.с.									
32	10	70	320	6000	–	2	1,5	1,8	–

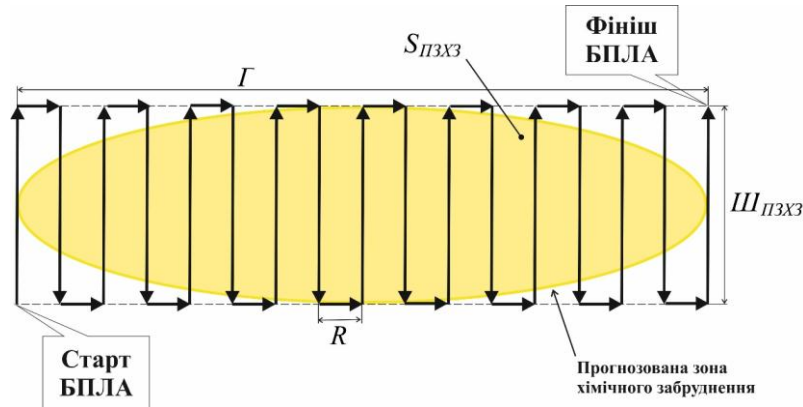


Рисунок 5 – Варіант формуванні трас польоту БПЛА при розвідці зони забруднення місцевості НХР

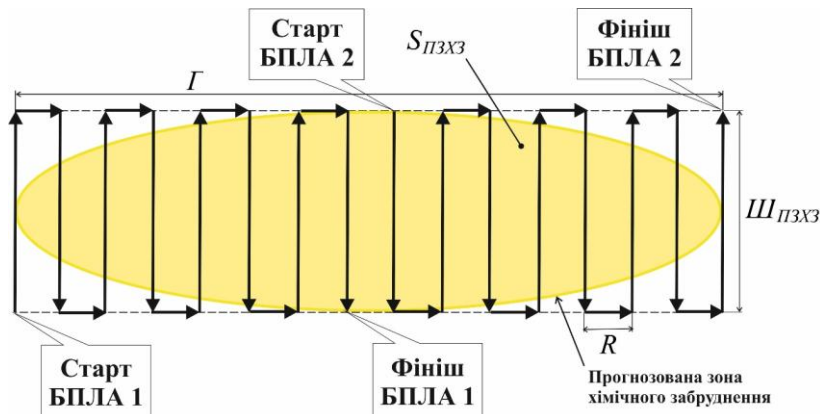


Рисунок 6 – Варіант формуванні трас польоту двох БПЛА при розвідці зони забруднення місцевості НХР

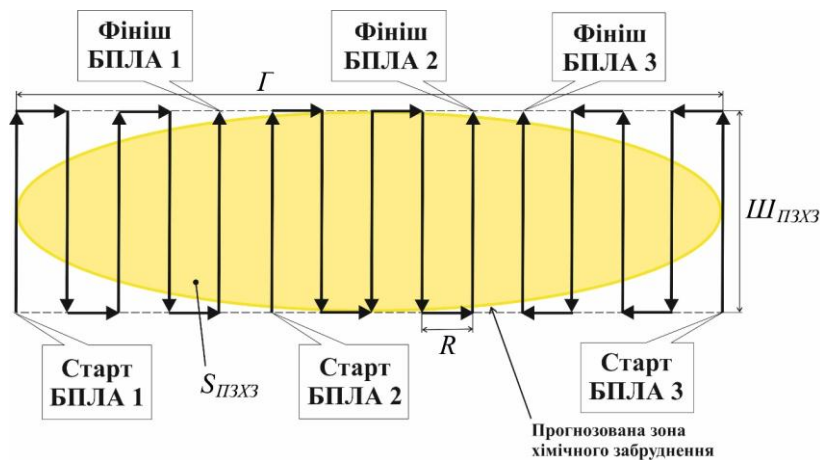


Рисунок 7 – Варіант формуванні трас польоту трьох БПЛА при розвідці зони забруднення місцевості НХР

Нехай в результаті аварії на ХНО по зберіганню хлору виникла НС, пов'язана із забрудненням території НХР. Розрахункові прогнозовані параметри зони забруднення місцевості наведені в табл. 2.

Для розвідки та уточнення параметрів зони забруднення місцевості можуть використовуватися БПЛА різних типів на базі БПЛА R-100, основні ТТХ яких наведені в табл. 3.

Таблиця 2 – Розрахункові прогнозовані параметри зони забруднення місцевості

Глибина зони забруднення (км)	Ширина зони забруднення (км)
20	4

Таблиця 3 – Основні ТТХ різних типів БПЛА на базі БПЛА R-100

Тип БПЛА	Середня швидкість польоту, км/год	Радіус розвороту, км	Тривалість польоту, год
БПЛА з одноциліндровим двигуном потужністю 2,5 к.с.	92,5	0,2	5
БПЛА з двоциліндровим двигуном потужністю 3,5 к.с.	115	0,2	4

Таблиця 4 – Час проведення розвідки при різних варіантах використання БПЛА

Час проведення розвідки одним БПЛА з одноциліндровим двигуном потужністю 2,5 к.с., год	Час проведення розвідки одним БПЛА з двоциліндровим двигуном потужністю 3,5 к.с., год	Час проведення розвідки двома БПЛА з одноциліндровим двигуном потужністю 2,5 к.с., год	Час проведення розвідки двома БПЛА з двоциліндровим двигуном потужністю 3,5 к.с. год	Час проведення розвідки двома БПЛА з одноциліндровим двигуном потужністю 2,5 к.с. та БПЛА з двоциліндровим двигуном потужністю 3,5 к.с., год
4,6	3,7	2,3	1,85	2,3

Проведемо дослідження ефективності варіантів організації розвідки при використанні одного БПЛА і групової розвідки БПЛА. В якості критерію ефективності будемо використовувати час проведення розвідки. Час проведення розвідки при різних варіантах використання БПЛА наведено в табл. 4.

Результати експерименту показують, що при різних варіантах проведення розвідки час її проведення не перевищує тривалість польоту кожного з БПЛА. При цьому час розвідки одним БПЛА з одноциліндровим двигуном потужністю 2,5 кінських сил складає 4,6 години, а час розвідки одним БПЛА з двоциліндровим двигуном потужністю 3,5 кінських сил – 3,7 години. Це підтверджує твердження, що час розвідки визначається в тому числі і ТТХ БПЛА (зокрема його швидкістю польоту).

При варіанті організації групової розвідки двома однотипними БПЛА час її проведення скорочується в двічі (для БПЛА з одноциліндровим двигуном потужністю 2,5 кінських сил він складає 2,3 години, а для БПЛА з двоциліндровим двигуном потужністю 3,5 кінських сил – 1,85 годин).

В разі проведення розвідки двома різнотипними БПЛА час розвідки скорочується, але його тривалість визначається часом розвідки частини забрудненої зони БПЛА з гіршими характеристиками (в даному випадку БПЛА з одноциліндровим двигуном потужністю 2,5 кінських сил) і становить 2,3 години.

Таким чином, в даному випадку оптимальним буде варіант організації розвідки зони забруднення НХР за допомогою двох БПЛА з двоциліндровим двигуном потужністю 3,5 кінських сил.

Підсумовуючи результати проведених експериментальних досліджень необхідно висловити наступне.

Отримані результати підтверджують перспективність застосування БПЛА для проведення оперативного моніторингу, на основі розвідки та уточнення параметрів зон, як у випадку забруднення території НХР, так і у випадку виникнення на окремій місцевості інших надзвичайних екологічних ситуацій, що можуть призвести до негативних змін в навколишньому природному середовищі та потребують застосування надзвичайних заходів з боку держави.

Розроблена методика дозволяє оптимально формувати траси польоту поодиноких БПЛА та групи БПЛА при проведенні оперативного моніторингу місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація. При цьому враховуються як

прогнози дані щодо зони НС, так і ТТХ БПЛА. При виборі варіанту формування траси польоту БПЛА час розвідки не повинен перевищувати час тривалості польоту літального апарату у відповідності з його ТТХ.

Застосування групового варіанту організації оперативного моніторингу за допомогою БПЛА значно скорочує час розвідки зони надзвичайної екологічної ситуації, зокрема при використанні однотипних БПЛА час розвідки скорочується в n раз (n – кількість БПЛА, задіяних для виконання поставлених завдань).

Так, результати експериментальних досліджень варіантів організації розвідки зон зараження території НХР при використанні БПЛА (див. табл. 4) показали, що при значних розмірах зон забруднення НХР доцільно використовувати варіант групової організації розвідки території. Причому, в разі використання БПЛА різних типів час розвідки також скорочується, але його тривалість визначається часом розвідки частини забрудненої зони БПЛА з гіршими характеристиками.

Подальші дослідження автори планують провести за наступними напрямками: формування траси польоту поодиноких БПЛА та групи БПЛА при проведенні розвідки та уточнення параметрів зони радіаційного зараження місцевості; організація взаємодії та управління при груповому варіанті використання різних типів БПЛА (наприклад, вертолітного та літального) для оперативного моніторингу за зоною місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація.

4. Висновки.

1. Набули подальшого розвитку науково-технічні основи створення комплексної функціональної схеми системи безпілотних літальних апаратів для оперативного моніторингу окремої місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація. Схема характеризується тим, що для підвищення оперативності моніторингу сумісно застосовуються стаціонарні пости моніторингу та БПЛА. Запропонована система моніторингу включає класичну підсистему моніторингу, ситуаційний центр та підсистему виконання рішення. Вона передбачає розташування диспетчерського пункту отримання й обробки інформації та обладнання для старту БПЛА на наземній рухомій платформі (штабний автомобіль; пожежно-рятувальний автомобіль; автомобіль патрульної поліції; автомобіль радіаційної, хімічної та біологічної розвідки; бронетранспортер; машина військової розвідки; тягач тощо).

2. З метою розробки підходу щодо оперативного моніторингу окремої місцевості, де сталося надзвичайна екологічна ситуація, проаналізовано можливості теоретичного прогнозування зон зараження території НХР. В результаті встановлено, що основний недолік при використанні відповідних методик полягає в неточності визначення параметрів зони забруднення та неврахування швидкоплинності змін метеорологічних умов.

Перспективним напрямком подолання цих недоліків є використання БПЛА для проведення розвідки та уточнення параметрів зон забруднення місцевості НХР. Головним критерієм ефективності використання БПЛА є час проведення розвідки, який визначається як характеристиками БПЛА, так і формуванням траси польоту БПЛА.

3. Розроблено методику формування траси польоту поодиноких БПЛА та групи БПЛА при проведенні хімічної розвідки та уточнення параметрів зони зараження НХР. При формуванні траси польоту БПЛА враховується як прогнозні дані щодо зон забрудненої території НХР, так і можливості БПЛА, зокрема тривалість польоту та його швидкість. Головним критерієм ефективності вибору варіанту формування траси польоту БПЛА є

час проведення розвідки місцевості. При цьому час розвідки забрудненої зони не повинен перевищувати заданий час розвідки та час тривалості польоту літального апарату у відповідного з його ТТХ.

4. В результаті дослідження встановлено, що при груповому варіанті розвідки зон забруднення території БПЛА час розвідки значно скорочується, що доводить ефективність організації такого варіанта розвідки території забрудненої НХР.

Результати експериментальних досліджень варіантів організації розвідки зон забруднення території НХР при використанні БПЛА показали, що при значних розмірах зон забруднення НХР доцільно використовувати варіант групової організації розвідки території. Застосування групового варіанту організації розвідки зон забруднення території БПЛА значно скорочує час розвідки, зокрема при використанні однотипних літальних апаратів час розвідки скорочується в n раз (n – кількість БПЛА, задіяних для виконання поставлених завдань). В разі використання БПЛА різних типів час розвідки теж скорочується, але його тривалість визначається часом розвідки частини забрудненої зони БПЛА з гіршими характеристиками.

ЛІТЕРАТУРА

- Guskova N. D., Neretina E. A. Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*. 2013. Vol. 63(3). P. 227–237.
- Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge / Dubinin D. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6(10(90)). P. 11–16.
- Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state / Rybalova O. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2(10(92)). P. 4–17.
- Studying the influence of design and operation mode parameters on efficiency of the systems of biochemical purification of emissions / Bakhareva A. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 3(10(93)). P. 59–71.
- Кластеризація регіонів України за рівнем небезпеки та шляхи підвищення ефективності функціонування єдиної державної системи цивільного захисту в умовах невизначеності вхідної інформації про виникнення надзвичайних ситуацій / Тютюнник В. В., Тютюнник О. О., Удянський М. М., Ященко О. А. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2021. Вип. 1(11). С. 75–84.
- Про зону надзвичайної екологічної ситуації: Закон України від 13 лип. 2000 р. № 1908-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1908-14#Text> (дата звернення: 01.03.2022).
- Кодекс цивільного захисту України від 2 жовт. 2012 р. № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 01.03.2022).
- Про затвердження Положення про Єдину державну систему цивільного захисту: постанова Кабінету Міністрів України від 9 січ. 2014 р. № 11. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text> (дата звернення: 01.03.2022).
- Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій: розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 січ. 2017 р. №61-р. «Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 01.03.2022).
- Сальник Ю. П., Матала І. В. Аналіз технічних характеристик і можливостей безпілотних авіаційних комплексів оперативно-тактичного та тактичного радіуса дії армій розвинених країн. *Військово-технічний збірник*. 2010. № 3. С. 70–74.
- Корченко А. Г., Ільях О. С. Обобщенная классификация беспилотных летательных аппаратов. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2012. Вип. 4(33). С. 27–36.
- Харченко О. В., Богославец С. О., Коцуренко Ю. В. Комплексний аналіз перспектив розвитку військової безпілотної авіації у збройних силах провідних країн світу. *Наука і оборона*. 2013. № 1. С. 51–57.
- Коробка В., Журавський О., Ткаченко В. Підвищення ефективності ведення радіаційної, хімічної та біологічної розвідки шляхом застосування безпілотних літальних апаратів. *Наука і оборона*. 2013. № 2. С. 29–34.
- Митин М. Д., Никольский Д. Б. Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов. *GEOMATICS*. 2013. № 4. С. 27–31.
- Руснак І. С., Хижняк В. В., Ємець В. І. Безпілотна авіація у сфері цивільного захисту України. Стан і перспективи розробки та застосування. *Наука і оборона*. 2014. № 2. С. 34–39.
- Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні: монографія / Андронов В. А., Дівізніук М. М., Калугін В. Д., Тютюнник В. В. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. 319 с.
- Застосування безпілотних літальних апаратів для контролю параметрів радіолокаційних засобів зенітних ракетних комплексів / Опенько П. В., Ткачов В. В., Кобзев В. В., Васильев В. А. *Наука і оборона*. 2017. № 3/4. С. 61–65.
- Мосов С. Створення системи безпілотної авіації у складі ДСНС – актуальне питання сьогодення. *Пожежна та техногенна безпека*. 2020. № 10. С. 12–15.
- Мосов С. Ера безпілотної авіації у сфері цивільного захисту. *Пожежна та техногенна безпека*. 2020. № 11. С. 14–16.
- Мосов С. БПЛА – перспективний засіб радіаційної, хімічної та біологічної розвідки. *Пожежна та техногенна безпека*. 2021. № 11. С. 16–19.

21. Оцінка ефективності покриття території надзвичайної ситуації за допомогою автоматизованих пристроїв контролю небезпечних факторів при їх розкиданні із зависаючого над точкою скидання безпілотної літального апарату / Тютюнник В.В. та ін. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2016. Вип. 10. С. 34–43.

22. Алгоритм оцінки ефективності покриття території надзвичайної ситуації автоматизованими пристроями контролю небезпечних факторів при їх розкиданні з безпілотної літального апарату в умовах нестабільностей повітряного середовища / Іванець Г.В. та ін. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2017. Вип. 25. С. 45–56.

23. Austin R. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment. John Wiley & Sons, Ltd. 2010. DOI:10.1002/9780470664797.

24. Kreps S., Zenko M. The next drone wars: preparing for proliferation. *Foreign Affairs*. 2014. Vol. 93(2). P. 68–79.

25. RPAS: The Global Perspective. 4th Annual Edition of the International Remotely Piloted Aircraft Systems Yearbook. UVS International, 2016.

26. Дробаха Г. А., Лісцидін В. Б. Формування траси польоту безпілотної літальної апарату під час виконання завдань з фотографування місцевості. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. 2016. № 2(28). С. 26–34.

27. Формування динамічної моделі оперативного моніторингу рівня забруднення екосистеми внаслідок аварій на об'єктах ядерної енергетики / Тютюнник В. В. та ін. *Екологічна безпека та природокористування*. 2020. № 1(33). С. 95–114.

28. Розвиток методологічного підходу для техногенно-екологічної оцінки рівня небезпеки функціонування локальних територій України / Тютюнник В. В. та ін. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2018. Вип. 3(1/2018). С. 91–101.

29. Тютюнник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О. Основоположні принципи створення у єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 4(50). С. 168–177.

30. Про затвердження Методики прогнозування наслідків виліту (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті: наказ М-ва внутрішніх справ України від 2 лист. 2019 р. № 1000. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text> (дата звернення: 01.03.2022).

Zakharchenko Ju., Ivanets H., Ivanets M., Kalugin V., Tiutiunyk V.

FORMATION OF FLIGHT TRAJECTORIES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES DURING OPERATIONAL MONITORING OF CERTAIN TERRITORY OF AN ENVIRONMENTAL EMERGENCY

In the article with the aim of the functioning efficiency of the unified state system of civil protection to minimize the consequences and prevent the depletion or destruction of individual natural complexes and resources (i.e., excessive pollution of the environment and the destructive effects of natural forces and other factors that limit or exclude the possibility of life of a person and the implementation of economic activity under these conditions) the results of further development of the scientific and technical foundations for the implementation of a system for operational monitoring of a certain area have been presented. These results were based on the example of the issues of reconnaissance and clarification of the area parameters contaminated by hazardous chemicals using unmanned aerial vehicles (UAVs) where an environmental emergency has been occurred. It has been established that the main criterion for the effectiveness of the use of UAVs is the time of monitoring the area of an environmental emergency. That time is associated with both the characteristics and the formation of the UAV flight path.

In the article the method of forming a flight path for reconnaissance and clarifying the parameters of the contamination zone of the area with hazardous chemicals by one UAV was presented. Also, the formation of the flight path when using the group flight of the UAV was presented. As a result of the research, it was found that with the group version of monitoring the UAV terrain, the flight time is significantly reduced. This proves the effectiveness of organizing such an option for monitoring a certain area of an emergency environmental situation.

Key words: environmental emergency, monitoring of a certain area, chemical contamination zone, unmanned aerial vehicle, flight path.

REFERENCES

- Guskova, N. D., & Neretina, E. A. (2013). Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*, 63(3), 227–237.
- Dubinina, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., & Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(10(90)), 11–16.
- Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsybmal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., & Filenko, O. (2018). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10(92)), 4–17.
- Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O., Tykhomyrova, T., Rybalova, O., Artemiev, S., & Bryhada, O. (2018). Studying the influence of design and operation mode parameters on efficiency of the systems of biochemical purification of emissions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10(93)), 59–71.
- Tiutiunyk, V., Tiutiunyk, O., Udianskyi, M., & Yashchenko, O. (2021). Klasteryzacija regioniv Ukraïny za rivnem nebezpeky ta shljahy pidvyshennja efektyvnosti funkcionuvannja jedynoi derzhavnoi systemy cyvil'nogo zahystu v umovah nevyznachnosti vhidnoi informacii pro vynykennja nadzvyčajnyh sytuacij [Regions of Ukraine clustering level of risk and ways to improve the efficiency of a unified state civil defense system under uncertainty input information about emergencies]. *Scientific bulletin: Civil protection and fire safety*, 1(11), 75–84. [in Ukrainian].
- Pro zonu nadzvyčajnoi' ekologichnoi' situacii' [About the zone of ecological emergency], 1908-II Law of Ukraine (2000). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1908-14#Text>. [in Ukrainian].
- Kodeks cyvil'nogo zahystu Ukraïny [Code of Civil Protection of Ukraine], 5403-VI Code of Ukraine (2012). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>. [in Ukrainian].
- Pro zatverdzhennja Polozhennja pro Jedynu derzhavnu systemu cyvil'nogo zahystu [On approval of the Regulations on the Unified State System of Civil Protection], 11 Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2014). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian].
- Pro shvalennja Strategii' reformuvannja systemy Derzhavnoi' sluzhby Ukraïny z nadzvyčajnyh situacij [On approval of the Strategy for reforming the system of the Civil Service of Ukraine for Emergencies], 61-r Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2017). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80#Text>. [in Ukrainian].
- Salnik, Y. P., & Matala, I. V. (2010). Analiz tehnychnyh karakterystyk i mozhlyvostej bezpilotnyh aviacijnyh kompleksiv operatyvno-taktychnogo ta taktychnogo radiusa dii' armij rozvynenyh kraïn [Analysis of technical descriptions and possibilities of UAV operational and tactical range of armies of developed countries]. *Military Technical Collection*, 3, 70–74. [in Ukrainian].
- Korchenko, A. G., Ilyash, O. S. (2012). Obobshchennaja klassifikacija bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Generalized classifications of unmanned air vehicles]. *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 4(33), 27–36. [in Russian].
- Kharchenko, O. V., Bogoslavets, S. O., & Kotsurenko, Yu. V. (2013). Kompleksnyj analiz perspektivy rozvytku vijs'kovoi' bezpilotnoi' aviacii' u zbrojnyh sylah providnyh kraïn svitu [The complex analysis of prospects for development of pilotless military aviation in the armed forces of the leading countries of the world]. *Science and Defence*, 1, 51–57. [in Ukrainian].
- Korobka, V., Zhuravskiy, O., & Tkachenko, V. (2013). Pidvyshennja efektyvnosti vedennja radiacijnoi', himichnoi' ta biologichnoi' rozvidky shljahom zastosuvannja bezpilotnyh lital'nyh aparativ [Ways of increasing efficiency of NBC surveillance by using unmanned aerial vehicles (UAV)]. *Science and Defence*, 2, 29–34. [in Ukrainian].

14. Mitin, M. D., & Nikolskij, D. B. (2013). Sovremennye tendencii razvitiya otrasli bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Modern trends in the development of the unmanned aerial vehicles industry]. *GEOMATICS*, 4, 27–31. [in Russian].
15. Rusnak, I. S., Khyzhnyak, V. V., & Yemets, V. I. (2014). Bezpilotna aviacija u sferi cyvil'nogo zahystu Ukrai'ny. Stan i perspektyvy rozrobky ta zastosuvannya [Unmanned aircraft in civil protection of Ukraine. Current situation and prospects of development and application]. *Science and Defence*, 2, 34–39. [in Ukrainian].
16. Andronov, V. A., Diviziniuk, M. M., Kalugin, V. D., & Tiutiunyk, V. V. (2016). *Naukovo-konstruktors'ki osnovy stvorennja kompleksnoi' systemy monitoryngu nadzvychajnyh situacij v Ukrai'ni: monografija* [Scientific and design bases of complex creation system of emergency monitoring situations in Ukraine: monograph]. Kharkiv: National University of Civil Defence of Ukraine, 319. [in Ukrainian].
17. Openko, P. V., Tkachov, V. V., Kobziev, V. V., & Vasylijev, V. A. (2017). Zastosuvannya bezpilotnyh lital'nyh aparativ dlja kontrolju parametriv radiolokacijnyh zasobiv zenitnyh raketnyh kompleksiv [Application of unmanned aerial vehicles for monitoring the radar equipment parameters of surface-to-air missile systems]. *Science and Defence*, 3/4, 61–65. [in Ukrainian].
18. Mosov, S. (2020). Stvorennja systemy bezpilotnoi' aviaciji' u skladi DSNS – aktual'ne pytannja s'ogodennja [The creation of an unmanned aerial vehicle system within the SES is a topical issue today]. *Pozhezhna ta tehnogenna bezpeka*, 10, 12–15. [in Ukrainian].
19. Mosov, S. (2020). Era bezpilotnoi' aviaciji' u sferi cyvil'nogo zahystu [The era of unmanned aerial vehicles in the field of civil defense]. *Pozhezhna ta tehnogenna bezpeka*, 11, 14–16. [in Ukrainian].
20. Mosov, S. (2021). BpLA – perspektyvnyj zasib radiacijnoi', himichnoi' ta biologichnoi' rozvidky [UAVs are a promising means of radiation, chemical and biological reconnaissance]. *Pozhezhna ta tehnogenna bezpeka*, 11, 16–19. [in Ukrainian].
21. Tiutiunyk, V. V., Kalugin, V. D., Ivanets, G. V., Ivanets, M. G., & Zakharchenko, Yu. V. (2016). Ocinka efektyvnosti pokryttja terytorii' nadzvychajnoi' situaciji' za dopomogoj avtomatyzovanyh prystroi'v kontrolju nebezpechnykh faktoriv nebezpechnykh faktoriv pry i'h rozkydanni iz zavysajuchogo nad tochkou skydannja bezpilotnogo lital'nogo aparatu [Efficiency estimate of the emergency situations territory covering by means of the automated control units of dangerous factors in case of their scattering from the dumping of the unmanned aerial vehicle hanging over the point]. *Technogenic and Environmental Safety and Civil Protection*, 10, 34–43. [in Ukrainian].
22. Ivanets, G. V., Tiutiunyk, V. V., Kalugin, V. D., Pospelov, B. B., & Zakharchenko, Yu. V. (2017). Algoritm ocinky efektyvnosti pokryttja terytorii' nadzvychajnoi' situaciji' avtomatyzovanymy prystrojamy kontrolju nebezpechnykh faktoriv pry i'h rozkydanni z bezpilotnogo lital'nogo aparatu v umovah nestabil'nostej povitranogo seredovyshha [Algorithm for assessing the effectiveness of coatings emergency situation territory by the automated control units of dangerous factors at their scattering from the unmanned aerial vehicle in the conditions of the stable air]. *Problems of Emergencies*, 25, 45–56. [in Ukrainian].
23. Austin, R. (2010). *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment*. John Wiley & Sons, Ltd. DOI:10.1002/9780470664797.
24. Kreps, S., & Zenko, M. (2014). The next drone wars: preparing for proliferation. *Foreign Affairs*, 93(2), 68–79.
25. UVS International. (2016). *RPAS: The Global Perspective. 4th Annual Edition of the International Remotely Piloted Aircraft Systems Yearbook*.
26. Drobakha, G. A., & Lisitsin, V. E. (2016). Formuvannya trasy pol'otu bezpilotnogo lital'nogo aparatu pid chas vykonannya zavdan' z fotografuvannya miscevoli [Planning of unmanned aerial vehicle trace for aerophotography tasks]. *Zbirnyk naukovykh prac' Nacional'noi' akademii' Nacional'noi' gvardii' Ukrai'ny*, 2(28), 26–34. [in Ukrainian].
27. Tiutiunyk, V. V., Sobol, O. M., Kalugin, V. D., & Zakharchenko, J. V. (2020). Formuvannya dynamichnoi' modeli operatyvnogo monitoryngu rivnja zabrudnennja ekosystemy vnaslidok avarij na ob'jehtah jadernoi' enerhytyky [Formation of the dynamic model for operative monitoring of the ecosystem's pollution level through emergencies at nuclear power plants]. *Environmental safety and natural resources*, 1(33), 95–114. [in Ukrainian].
28. Tiutiunyk, V. V., Strelec, V. M., Kalugin, V. D., & Zakharchenko, Yu. V. (2018). Rozvytok metodologichnogo pidhodu dlja tehnogennno-ekologichnoi' ocinky rivnja nebezpeky funkcionuvannya lokal'nyh terytorij Ukrai'ny [Methodological approach development for technogenic and ecological assessment of danger level of functioning of local territories of Ukraine]. *Technogenic and ecological safety*, 3(1/2018), 91–101. [in Ukrainian].
29. Tiutiunyk, V. V., Kalugin, V. D., & Pisklakova, O. O. (2018). Osnovopolozhni princypy stvorennja u jedynij derzhavnij systemi cyvil'nogo zahystu informacijno-analitychnoi' pidsystemy upravlinnja procesamy poperedzhennja j lokalizacii' naslidkiv nadzvychajnyh situacij [The making fundamental principles of the informational and analytical subsystem of prevention management processes and localization of emergency situation consequences]. *Control, Navigation and Communication Systems*, 4(50), 168–177. [in Ukrainian].
30. *Pro zatverdzhennja Metodyky prognozuvannya naslidkiv vylyvu (vykydu) nebezpechnykh himichnyh rehovyn pid chas avarij na himichno nebezpechnykh ob'jehtah i transporti* [About the statement of the Methodology of forecasting of consequences of spill (emission) of dangerous chemicals during accidents on chemically dangerous objects and transport], 1000 Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine (2019). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text>. [in Ukrainian].