

УДК [622.861.004.6:629.7:533.6.013.622]

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.027>

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ОБСТЕЖЕННЯ АВАРІЙНИХ ТА ЗАГРОЗЛИВИХ ДІЛЯНИЦЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ І НА БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТАХ

¹Булат А.Ф., ¹Бунько Т.В., ²Шатов С.В., ¹Кокоулін І.Є., ³Яценко І.О.,
²Папірник Р.Б.

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ²Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури»,
³Міністерство енергетики та вугільної промисловості України

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ И УГРОЖАЕМЫХ УЧАСТКОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ И НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

¹Булат А.Ф., ¹Бунько Т.В., ²Шатов С.В., ¹Кокоулин И.Е., ³Яценко И.А.,
²Папирнык Р.Б.

¹Інститут геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ³Министерство энергетики и угольной промышленности Украины

USING THE UAV FOR INSPECTING ACCIDENT SITES AND THREATENED AREAS IN CASE OF EMERGENCY SITUATIONS OCCURRED IN COAL MINES AND ON BUILD OBJECTS

¹Bulat A.F., ¹Bunko T.V., ²Shatov S.V., ¹Kokoulin I.Ye., ³Yashchenko I.O.,
²Papirnyk R.B.

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²State Higher Educational Institution «Pridneprovsk State Academy of Building and Architecture», ³Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine

Анотація. У ході реалізації заходів щодо порятунку людей і ліквідації аварії, передбачених планом ліквідації аварій, виникає ситуація, коли ефективність роботи гірничорятувальних частин знижується внаслідок недостатності інформації щодо аварійних і загрожуваних ділянок шахти на момент вживання протиаварійних заходів. Традиційні моніторингові засоби відсутні, а отримання інформації у ході аварії людиною створює небезпеку для її життя. Стан аварійної зони нестабільний, в ній відбуваються нестационарні аерогазотермодинамічні процеси, порушуються геометричні характеристики і підвищується захаращеність виробок, що робить неможливим вимірювання параметрів протікання аварійної ситуації людиною. Вихід може бути знайдено у використуванні робототехнічних засобів моніторингу. Такі засоби (гусеничні, змієподібні, літаючі) широко використовуються за кордоном, проте на вугільних шахтах України поки не знаходять застосування. Причому перевагу слід надавати безпілотним літальним апаратам (БПЛА) зважаючи на їх високу маневреність, незалежність від характеру нерівності ґрунту під час руху за маршрутом обстеження аварійної зони, швидкість переміщення і обробки інформації, можливості прямого нагляду. Малі габарити апарату і можливість оснащення його такими ж малогабаритними вимірювальними приладами дозволяють обстежувати малодоступні ділянки аварійної зони і передавати гірничому диспетчеру інформацію, яка може використовуватися для більш обґрунтованого вибору завдань відділенням воєнізованої гірничорятувальної служби за умови безпеки їх роботи. Вживання БПЛА ефективно і для обстеження стану великогабаритних поверхневих споруд шахти і об'єктів будівельної індустрії (висотних будівель, димових труб, телебашт), для чого за їх відсутності необхідно задіювати спеціально навчених альпіністів, що небезпечно. Аналогічно роботі БПЛА у підземних умовах вони можуть бути корисні під час розвідки завалів при руйнуванні будівель і здійснювання рятувальних робіт. Проте необхідні додаткові дослідження, пов'язані з організацією передачі інформації з БПЛА, управління ними на великій відстані, організації подолання вузьких місць у гірничих виробках, завалів і т.ін.

Ключові слова: ліквідація аварій, гірничорятувальна служба, безпілотні літальні апарати, безпека гірничих робіт, руйнування будівель, розвідка аварійної зони.

При виникненні шахтних аварій до дії вводиться план ліквідації аварій (ПЛА), який визначає міри і дії щодо спасіння усіх людей, що знаходяться у аварійних та загрозливих ділянках шахти, і ліквідації аварії у найкоротший термін з мінімальними витратами и втратами.

Крім традиційних дій (аварійної евакуації людей и прийняття мір засобами гірничого диспетчера) передбачається залучення спеціально навченого персоналу – підрозділів воєнізованої гірничорятувальної служби (ВГРС), задачами якої є подання допомоги людям, що екакуюються (можливо – травмованим), розвідка осередку аварії (оцінка руйнування елементів устаткування, їх енергопостачання (до моменту прицняття рішення щодо знеструмлення), можливості доставки до місця аварії завобів її локалізації і ліквідації, визначення місць знаходження людей, застигнутих аварією і не евакуйованих, надання їм першої допомоги тощо) і ліквідація аварійної ситуації.

Направлення до осередку аварії призначених для цього підрозділів ВГРС не завжди ефективно внаслідок неможливості попередньої розвідки осередку аварії і аварійної зони в цілому. Причина цього – обмеженні можливості людини-гірничорятувальника. На момент прибуття до аварійної зони він не має відомостей щодо реальної картини руйнувань і характеристик стану аварійного об'єкту. Коли не працюють розраховані на функціонування у нормальних умовах мережі передачі даних від датчиків стану технологічної системи (наприклад, УТАС), а диспетчер, який повинен прийняти оперативне рішення, не знає реальних масштабів аварійної події, для прийняття рішення щодо подальшої тактики дій ВГРС йому необхідно швидко і якісно отримати інформацію щодо стану аварійного об'єкту ще до початку роботи ВГРС. Тому серед оперативних завдань, що виконуються підрозділом ВГРС, інформаційна розвідка аварійної зони є першочерговим. Оцінка геометричних, термо- и газодинамічних параметрів маршрутів підходу до осередку аварії для її розвідки і ліквідації обумовлюють необхідність використання з цією метою робототехнічних моніторингових засобів – безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Один з таких апаратів показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Безпілотний літальний апарат

БПЛА, здійснюючи вертикальний зліт і посадку у обмеженому просторі, зависаючи над різними об'єктами, дозволяють вирішувати задачі контролю, спостереження і обстеження. Такий апарат має можливості прямого спостереження і розвідки, маневреністю, достатньо великою швидкістю обробки інформації, швидкістю переміщення, незалежністю від характеру нерівності поверхні, вздовж якої рухається апарат (на відміну від мобільних роботів на гусеничній платформі). Зазначені якості визначають можливості використання його у складних і небезпечних середовищах, де неприпустима, без попередньої розвідки, участь людини.

Використовування БПЛА як у нормальних умовах, так і для ліквідації аварій на технологічних об'єктах запропоновано рядом вітчизняних і зарубіжних дослідників [1-10]. Цими питаннями займаються Масачусетський технологічний інститут, Університет Пенсильванії (США), Центральний Південний університет КНР, Технічний університет Данії, у Росії – Московський державний технічний університет ім. М.Е. Баумана, Російський технологічний університет (МІРЕА), Інститут прикладної математики ім. М.В. Келдиша РАН. В Україні відомі розробки Придніпровської державної академії будівництва і архітектури [11-14].

Основні роботи, які здатні виконувати БПЛА у галузі будівельної індустрії, представлено на рис. 1. Особливе місце займають роботи, пов'язані з безпекою будівельних робіт. Основна тенденція у вирішенні задач моніторингу будівельної індустрії – широке використання технології БПЛА для аеровізуального спостереження за технічним станом промислової інфраструктури, а також для контролю за розвитком небезпечних техногенних процесів з метою забезпечення безпеки і мінімізації ризику виникнення надзвичайних ситуацій. Особливе місце займають роботи, пов'язані з безпекою будівельних робіт, обстеження споруд з метою виявлення ділянок, потенційно аварійно небезпечних. Визначення технічного стану будівель виконується візуальним і візуально-інструментальним методами із залученням спеціально підготовлених робітників. Таке обстеження є трудомістким, а в окремих випадках – навіть небезпечним, процесом.

Двома найбільш складними процесами, здійснення яких може здійснюватись БПЛА, є обстеження димових труб і висотних споруд і дослідження руйнування будівель.

Для обстеження димових труб залучаються альпіністи (рис. 3). Однак їхні можливості обмежені: не завжди можна закріпитись на певній ділянці труби, неможливе обстеження ділянок за межами прямої видимості, ефективно користування громіздкими вимірювальними приладами, фото- і відеоапаратурою, ремонтним знаряддям тощо. Робота БПЛА позбавлена цих недоліків. Він не потребує фіксації у просторі, здатний вести обстеження, віддаляючись/наближуючись до об'єкту, рухаючись будь-якими траєкторіями (рис. 4а), та навіть «заглядати» всередину (рис. 4б). Залежно від вантажопідйомності він здатний нести апаратуру, незручну для звичайного

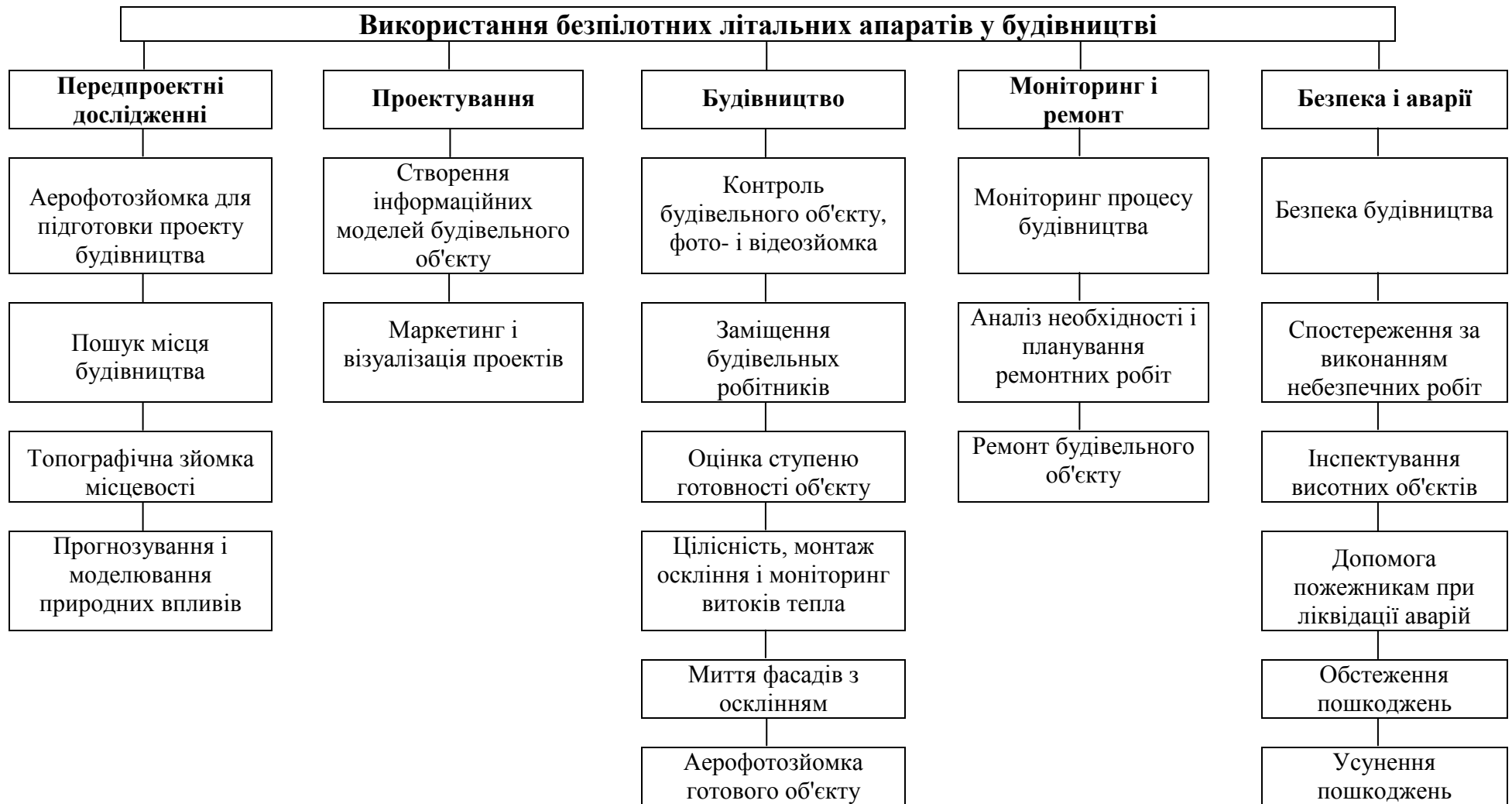


Рисунок 2 – Можливості використання БПЛА у будівництві



Рисунок 3 – Обстеження висотного будівельного об'єкту альпіністами

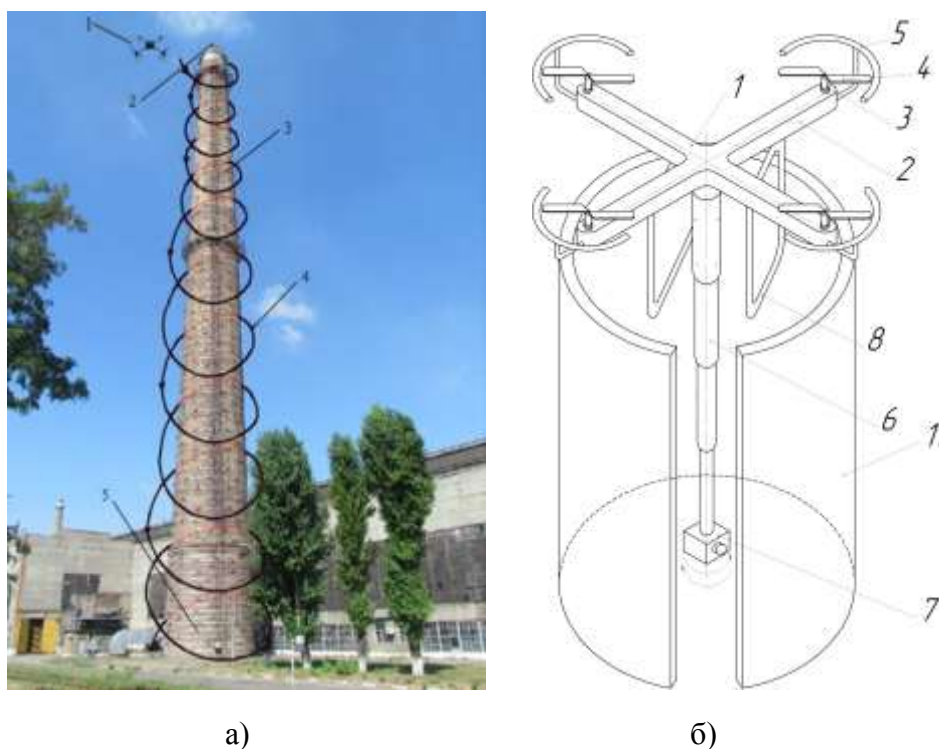


Рисунок 4 – Обстеження висотного будівельного об'єкту БПЛА

перенесення і не обмежену габаритами, а в деяких випадках, за умови залучення спеціального програмного забезпечення, - виконувати і нескладні ремонтні роботи. Отримані дані транслюються у режимі реального часу, а також записуються на карту пам'яті. Оператор вручну змінює траєкторію руху БПЛА, повертаючи його до потрібної точки за необхідності повторити зйомку об'єкту чи здійснення додаткових операцій. За одну годину апарат здатен облетіти більш ніж 70 км маршрутів обстеження. Об'єкти обстеження знаходяться у практично необмеженому просторі, що надає можливість вільного маневрування БПЛА і спрощує програму виконання його завдань.

У випадку руйнування будівель здійснення аварійно-рятувальних та відновлювальних робіт здатне ускладнитись внаслідок порушення рівноваги обвалених конструкцій, захаращення підходів до об'єкту уламками та

будівельним сміттям, недостатніми габаритами шляхів руху та отворів тощо. Підйом на верхні поверхи зруйнованої будівлі або до вікон з метою обстеження приміщень і рятування людей, які імовірно залишились у пошкоджених ділянках, потребує монтажу спеціальних риштувань або драбин у нестійких умовах (рис. 5а), що створює небезпеку роботи рятувальників. Не маючи відомостей щодо масштабів обвалень, важко оцінити працемісткість відновлювання об'єкту. Тому важливим є використання БПЛА для попередньої розвідки і оцінки маршрутів руху рятувальників (рис. 5б) і обсягів необхідних робіт з ліквідації аварії з підвищенням можливості обстеження елементів об'єкту у стиснених умовах.



а)



б)

Рисунок 5 – Обстеження зруйнованого об'єкту

Будівельна і вугільна індустрії з точки зору використання БПЛА мають багато загального. Вугільна шахта, як технологічний об'єкт, може бути умовно розділена на дві підсистеми: підземну і поверхневу. Використання БПЛА для їх обстеження має певну специфіку. У поверхневому комплексі шахти присутні висотні споруди – металеві і баштові копри, для обстеження яких застосовні методи і технічні за-соби, що використовуються для обстеження труб і висотних споруд підприємств інших галузей промисловості, про що мовилось вище. Відмінною особливістю роботи БПЛА є вільне маневрування у районі поверхневого об'єкту, що обстежується. Це дозволяє проводити фотографування, сканування, візуальну оцінку його стану, що не завжди доступно при обстеженні об'єкту спеціально підготовленими людьми. У підземних же умовах об'єкти, що обстежуються, знаходяться у обмеженому просторі, що у аварійних умовах змінив до того ж свої геометричні параметри, і в умовах задимлення, що знижує оптичні можливості засобів візуального обстеження. Тому БПЛА повинен, з одного боку, мати мінімальні розміри, що дозволить обстежити ділянки гірничих виробок невеликого і перемінного перетину, а з другого – мати можливість оснащатись необхідною приборною базою моніторингу аерогазотермодинамічних параметрів аварійного об'єкту.

Завданням автоматизованого поставарійного моніторингу є отримання, перед вводом до зони аварії робітників ВГРС і для уточнення їх завдань, достатньо вірогідної інформації щодо стану гірничих виробок, динаміки зміни

температури і газового складу повітря у виробках, наявності у них шахтарів, необхідності надання допомоги у їх аварійній евакуації тощо. Для оцінки можливості і ефективності використання БПЛА у аварійних умовах у вугільній шахті повинні бути вирішені наступні задачі (де в чому аналогічні завданням БПЛА під час розвідки руйнувань промослових і цивільних об'єктів і будівництві):

а) розробити структуру автоматизованої інформаційної системи роботи БПЛА під час розвідки аварійної зони у період, що передує початку дій підрозділів ВГРС;

б) створити математичну модель руху БПЛА, орієнтовану на виконання робіт на заданому маршруті;

в) розробити автоматичну систему керування рухом БПЛА;

г) завчасно виконати комп'ютерне моделювання переміщення БПЛА з адаптивною системою керування траекторним безпечним рухом;

д) розробити алгоритм попередньої оцінки характеристик рудникової обстановки: рівня загазованості, запилення (для аварій, пов'язаних з обваленнями, гірничими ударами тощо), температури. Такі роботи проводяться, якщо БПЛА має достатню вантажопідйомність для обладнання відповідними приладами контролю;

е) розробити метод побудови мобільної мережі передавання даних з використанням БПЛА;

ж) виконати аналіз існуючого (або гаданого) оснащення шахт і підрозділів ВГРС БПЛА для виконання задач збирання, аналізу і передачі даних про аварійну обстановку;

и) виконати експериментальні дослідження пропускної здатності мережі передачі даних у шахтних умовах за допомогою БПЛА;

і) виконати інтегрування технічних засобів оснащення БПЛА для виконання задач збирання, аналізу і передачі інформації;

к) проаналізувати негативний вплив спільних робіт БПЛА і підрозділів ВГРС (або необхідність їх розділення за часом) протягом розвідки аварійної зони.

БПЛА, гірничорятувальники можуть здійснювати дистанційне дослідження, наприклад, за одною з таких схем:

а) підрозділ ВГРС запускає спеціально запрограмований під умови конкретної шахти автономний або дистанційно керований БПЛА, обладнаний засобами відеоспостереження і (якщо існує така можливість) датчиками температури, газоаналізаторами на O_2 і CH_4 , тепловізорами і дальномірами. Літальний апарат, переборюючи перешкоди, долітає до аварійної ділянки і передає дані з датчиків і зображення рудникової обстановки для подальшого прийняття рішень. З метою забезпечення розвідувальної операції гірничорятувальники, маючи крім основного розвідувального БПЛА кількома додатковими автономними або дистанційно керованими БПЛА, запускають їх одночасно або послідовно за маршрутом з метою забезпечення встановлення радіопередавачів з навігаційними маяками-орієнтирами через кожні 300-400 метрів прямої радіо-

видимості на усех місцях її припинення на маршруті основного розвідувального апарату;

б) при введенні у дію ПЛА для аварії типу «Пожежа» вентиляційним стовбуром (вентиляційний режим нормальний) у найкоротший час вилітає автономний БПЛА, і, розкидаючи радіо-датчики через кожні 300-400 метрів, долітає до сполучення чистої виробки з аварійною ділянкою. Якщо температура у виробці знаходиться у допустимому діапазоні, то БПЛА досягає місця виникнення аварії і передає дані за вибудованим маршрутом; якщо температура у виробці перевищує критичну, то літальний апарат спускається на ґрунт виробки і стає, внаслідок неможливості подальшого переміщення, стаціонарним передаючим пристроєм.

Інші схеми руху і використання БПЛА визначаються керівником гірничорятувальних робіт у відповідності з інформацією, що надходить із шахти щодо необхідності проведення додаткової розвідки. При цьому використовується інформація з завчасно вибудованої робототехнічної сенсорної мережі.

Блок-схему прийняття рішень щодо одного з варіантів використання БПЛА у залежності від місця виникнення аварії показано на рис. 6.

Переваги БПЛА, що використовуються на зарубіжних шахтах, очевидні: невеликі габарити, висока маневреність, можливість керування в умовах обмеженого простору, оснащення необхідними засобами моніторингу параметрів аварійної ситуації. На жаль, в практиці вугільної промисловості України вони поки не знаходять застосування. Причини прості – зарубіжні зразки дорогі, вітчизняні, сертифіковані у Міненерговугіллі України і ДТЕК, відсутні. Немає і правової і нормативно-методичної бази використання БПЛА на вугільних шахтах, тим паче у аварійних умовах.

Для зняття цього обмеження необхідним є перегляд положень Правил безпеки [15] і прийняття відповідних організаційних і технічних рішень. А для їх розроблення необхідно перш за все відповісти на такі питання:

- а) якими засобами необхідно оснастити БПЛА?
- б) якими повинні бути технічні характеристики БПЛА?
- в) якими повинні бути засоби керування рухом БПЛА?

Для відповіді на питання щодо потрібних технічних можливостей БПЛА необхідно оцінити вагові, габаритні характеристики існуючих датчиків інформаційного оснащення літального апарату, засобів акустичного зв'язку і параметри їх енергоспоживання.

Ці досить важкі для реалізації вимоги можна знизити, якщо газоаналізатори, що мають максимальну вагу серед датчиків, зробити стаціонарними і доставляти їх на місце окремими рейсами БПЛА.

На відміну від наземних шахтні БПЛА повинні забезпечувати швидкість польоту того ж порядку, що і швидкість руху повітря у гірничих виробках за маршрутом руху. Величина швидкості залежить від міркувань безпечного керування рухом БПЛА з урахуванням необхідної швидкості отримання зображень середовища пересування.

У модельній вантажопідйомності БПЛА повинні бути враховані існуюча вага системи керування польотом і приймально-передаючого блоку для передачі телевізійного зображення.

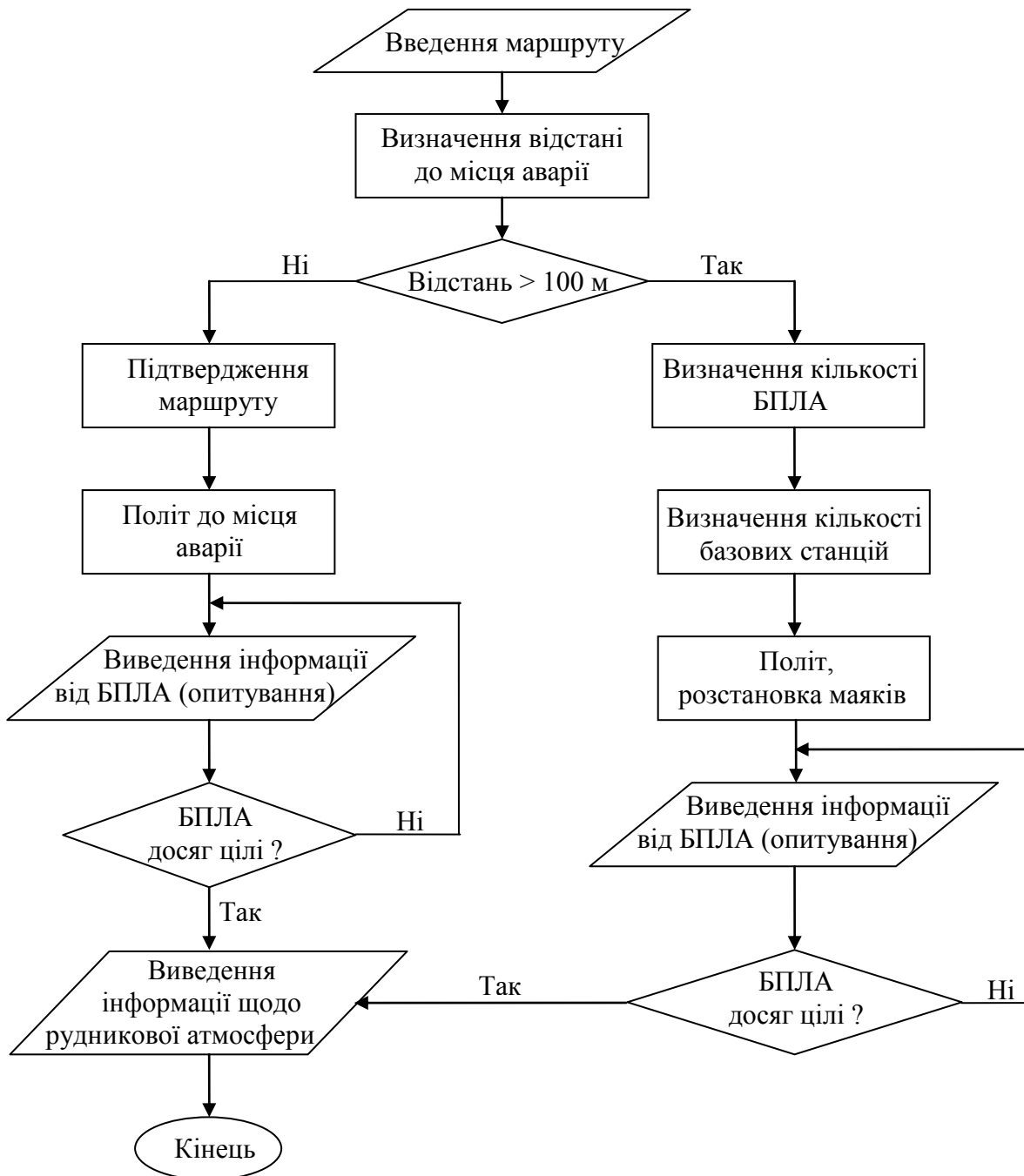


Рисунок 6 - Блок-схема прийняття рішень щодо запуску БПЛА

Оператор повинен оглядати об'єкти на малій відстані від них. Це вимагає стабільної нерухомості літальних апаратів з доброю дискретністю керування їх кутовим положенням.

Для створення автоматичної системи керування адаптивним польотом необхідно скласти математичну модель польоту БПЛА у стиснених умовах шахтних виробок, визначити модель детермінованих і стохастичних завад у

вигляді збурюючого потоку повітря (зустрічного, попутного или бокового), синтезувати алгоритм керування, скласти програму руху БПЛА до допустимого за аварійними характеристиками місця у гірничих виробках. Необхідно також передбачити можливість змінення програми руху у залежності від ситуації, що склалася на шляху слідування.

Шахтний літальний апарат обмежений як енергетично, так і за ваговими характеристиками, тому завданням досліджень є вибір вимірювальних приладів, чутливих елементів, засобів, призначених для відеозйомки і обчислювань, достатньо малогабаритних і з мінімальними енерговитратами.

Одними з найбільш розповсюджених моделей є квадрокоптер *Mavic Air*, дрон *TILL Ranger* и квадрокоптер *Elios*.

Квадрокоптер *Mavic Air* (виробник Китай, рис. 3) призначений для обстеження обмежених просторів і інспекції небезпечних зон. Його оснащено відеокамерою с трохвісевим стабілізатором, амортизаторами підвісу для гасіння вібрації. Квадрокоптер має сенсори для виявлення перешкод у фронтальній площині, знизу і ззаду, швидкість виявлення перешкод не більше 8 м/с, дальність виявлення перешкод від 0,5 до 12 м.



Рисунок 3 - Квадрокоптер *Mavic Air*

Поле обзору 50° у горизонтальній площині, $\pm 19^\circ$ у вертикальній площині. Режим запису відео 4K 32 зі швидкістю 30 кадрів/с при 100 Мбіт/с. Дальність передачі сигналу на відкритому просторі до 4000 м.

Дрон *TILL Ranger* (рис. 4) призначено для 3D сканування обмеженого простору, він здатний орієнтуватись у просторі, літати і пересуватись у підземних умовах за допомогою системи лазерних сканерів, здатний обчислити відстань між собою і оточуючими предметами, оперативно створює цифрову карту прилеглої території.

Квадрокоптер *Elios*, як і квадрокоптер *Mavic Air*, призначений для традиційної промислової інспекції, обстеження обмежених просторів і небезпечних зон. Технічні характеристики його (максимальна швидкість пересування, дальність передачі сигналі оператору) дещо поступаються квадрокоптеру *Mavic Air*. Малі габарити (168×184×64 мм у першого і 400×400 мм (по захисній решітці) у другого) дозволяють використовувати їх для відеозйомки аварійних об'єктів у труднодоступних місцях зі збереженням отриманої інформації. Однак для перенесення більш важкого обладнання вони не пристосовані.

Рисунок 4 - Дрон *TILL Ranger*

Дрон *TILL Ranger* допускає більш широке використання. Внаслідок додаткової вантажопідйомності (до 1,5 кг) він може оснащуватись додатковою приборною базою, однак більші габаритні розміри обмежують його використання під час аналізу завалів гірничих виробок і обстеження ділянок зашарашеності виробок обмеженого обсягу.

Аналогічні розробки є і в Україні [13,14], але можливості їх використання у аварійних підземних умовах не досліджувались. Однак наявні результати використання зарубіжних БПЛА дозволяють зробити висновок щодо перспективності запропонованих підходів. Вирішення таких задач можливе після глибшого аналізу розробок і світового ринку існуючих приладів, сенсорних засобів вимірювань, зв'язку і передачі даних, обчислювальних засобів бортового виконання, і потребує ґрунтовної науково-технічної проробки.

Висновки

У наземних умовах техніка використання дистанційно керованих безпілотних літальних апаратів для виконання розвідувальних і рятувальних операцій широко розвивається, однак можливості застосування таких засобів у підземних умовах ще далеко не вичерпані. Для використання невеликих літальних апаратів у шахтних умовах слід враховувати особливості їх роботи: погана видимість, аж до її відсутності, численність і різноманітність перешкод, у тому числі і повітряних, підвищений вміст діоксиду вуглецю, метану і інших шкідливих газів техногенного походження, висока температура, підвищена вологість, погані умови для радіопередачі. Виключення або принаймні зниження негативного впливу вказаних чинників дозволять перейти до якісно нового етапу – попередній розвідці поставарійного стану ШВМ, що дасть можливість підвищити безпеку і ефективність ведення гірничорятувальних і аварійно-відновлювальних робіт у вугільних шахтах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зенкевич С.Л., Галустьян Н.К. Разработка математической модели и синтез алгоритма угловой стабилизации движения квадрокоптера. Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 3. С. 27-32.
2. Зенкевич С.Л., Галустьян Н.К. Синтез и апробация алгоритма управления движением квадрокоптера по траектории. Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. № 8. С. 530-535.
3. Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. [и др.] Интеллектуальная система управления автономным беспилотным летательным аппаратом. Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2006. С. 141-143.
4. Белоконь С.А. [и др.] Управление параметрами полета квадрокоптера при движении по заданной траектории. Автометрия. 2012. № 5. С. 32-41.

5. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва: Техносфера, 2015. – 312с.
6. Lee T., Leok M., McClarmroch N. [et al] Control on complex maneuvers for a quadrotor UAV using Geometric Methods of SE(3). *Optimization and Control*. 2011. 8p.
7. Конурин А.И., Денисова Е.В., Хмелинин А.П. Основные проблемы и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов для обследования выработанного пространства при подземной разработке месторождений. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН*. 2016. Том 1. № 3. С. 93-97.
8. Пыркин А.А. [и др.] Синтез системы управления квадрокоптером с использованием упрощенной математической модели. СПб.: Изв. вузов. Приборостроение, 2013. Том 56. № 4. С. 47-51.
9. Ким М.Л., Родачев А.С., Певзнер Л.Д., Платонов А.К. О возможности использования мобильных робототехнических летательных аппаратов при выполнении оперативного плана ликвидации аварии на шахтах. *Уголь*. 2018. № 1. С. 34-38.
10. Певзнер Л.Д., Ким М.Л., Полуэктов Д.С. Моделирование движения беспилотного летательного аппарата в условиях подземных шахтных выработок. *Труды Международной конференции «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации-2018»*. Алушта. С. 255-257.
11. Шатов С.В., Трипутень С.М. Визначення параметрів уламків зруйнованих та пошкоджених будівель і споруд. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Дніпро: ПДАБА, 2014. Вип. 78. С. 305-311.
12. Шатов С.В., Титюк А.О., Савицький М.В., Титюк А.А. Обстеження технічного стану димових труб з використанням безпілотних літальних апаратів.
13. А.С. UA 124743 U, В64С 37/00. Пристрій для обстеження конструкцій / С.В. Шатов, В.І. Большаков., М.В. Савицький, А.О. Титюк, В.В. Лисиця, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», заявл. 09.10.2017; опубл. 25.04.2018, бюл. № 8. – 9с.
14. А.С. UA 112948 U, В64С 37/00, Квадрокоптер / С.В. Шатов, В.І. Большаков, М.В. Савицький, Є.А. Бауск, А.А. Еспендаров, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», заявл. 18.щ5.2016; опубл. 10.01.2017, бюл. № 1. – 4с.
15. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. - [Дійсн. від 22.03.2010]. – Офіційне видання. – Київ: Основа, 2010. – 430 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).

REFERENCES

1. Zenkevich S.L. and Galustyan N.K. (2014), «Development of mathematical model and synthesis algorithm of angular stabilization of motion of quadcopter», *Mechatronics, automation and control*, no. 3, pp. 27-32.
2. Zenkevich S.L. and Galustyan N.K. (2015), «Synthesis and approbation algorithm of traffic control of quadcopter on a trajectory», *Mechatronics, automation and control*, no. 8, pp. 520-535.
3. Lokhin V.M., Manko S.V., Romanov M.P. [and others] (2006), «Intellectual control system by an autonomous unmanned aircraft», *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*, pp. 141-143.
4. Belokon S.A. [and others] (2012), «Control by the parameters of flight of quadcopter at motion on the set trajectory», *Autometry*, no. 5, pp. 32-41.
5. Rendal U. Dyard and Timiti U. McPain (2015), *Malye bespilotnye letatelnye apparaty: teoriya i praktika* [Small unmanned aircraft: theory and practice], *Tekhnosfera*, Moscow, RU.
6. Lee T., Leok M., McClarmroch N. [and others] (2011), «Control on complex maneuvers for a quadrotor UAV using Geometric Methods of SE(3)», *Optimization and Control*, 8p.
7. Konurin A.I., Denisova Ye.V. and Khmelinin A.P. (2016), «Basic problems and prospects of application of unmanned aircraft for the inspection of the produced space at underground exploitation of deposits», *Fundamental and applied questions of mining sciences. N.A. Chinakal Institute of mine work of SD RAS*, Vol. 1, no. 3, pp.93-97.
8. Pyrkin A.A. [and others] (2013), «Synthesis of the control system of quadcopter with the use of the simplified mathematical model», *News of Higher Institutes. Instrument engineering*, Vol. 56, no. 4, pp. 47-51.
9. Kim M.L., Rodechev A.S., Pevzner L.D. and Platonov A.K. (2018), «About possibility of the use of mobile robototechnical aircraft at implementation of operative plan of liquidation of emergencies on mines», *Coal*, no. 1, pp. 34-38.
10. Pevzner P.D., Kim M.L. and Poluektov D.S. (2018), «Modelling of motion of unmanned aircraft in the conditions of the underground mine workings», *Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii «Sovremennye tekhnologii v zadachakh upravleniya, avtomatiki i obrabotki informatsii - 2018»* [Proceedings of the International conference «Modern technologies in the tasks of management, automation and treatment of information-2018»], Alushta, UA, pp. 255-257.
11. Shatov S.V. and Triputen S.M. (2014), «Determination parameters of wreckages of the blasted and damaged buildings and structures», *Construction, Material Science, Mechanical Engineering*, Dnipro, PSACEA., Vyp. 78, pp. 305-311.
12. Shatov S.V., Tytyuk A.O., Savytskyi M.V. and Tytyuk A.A. (), «Inspection of the technical state of flues with the use of unmanned aircraft», *Construction, Material Science, Mechanical Engineering*, Dnipro, PSACEA., Vyp. , pp. .
13. Shatov S.V., Bolshakov V.I., Cavytskyi M.V., Tytyuk A.O. and Lysytsya V.V., Prydniprovsk State academy of Civil Engineering and Architecture (2018), *Prystryi dlya obstezhennya konstruksiy* [Device for the inspection of constructions], Dnipro, UA, Pat. 124743.

14. Shatov S.V., Bolshakov V.I., Cavytskyi M.V., Bausk Ye.A. and Esendarov A.A. , Prydniprovsk State academy of Civil Engineering and Architecture (2017), *Kvadrakopter* [Quadrocopter], Dnipro, UA, Pat. 112948.

15. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10 Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh* [NLASL 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Osnova, Kiev, UA.

Про авторів

Булат Анатолій Федорович, академік Національної академії наук України, директор інституту, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, gtm.bulat@gmail.com

Бунько Тетяна Вікторівна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник у відділі проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, bunko2017@ukr.net

Шатов Сергій Васильович, доктор технічних наук, професор, професор кафедр будівельних і дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва і архітектури (ДВНЗ «ПДАБА»), Дніпро, Україна

Кокоулін Іван Євгенович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник у відділі проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, bunko2017@ukr.net

Яценко Ігор Олексійович, кандидат технічних наук, заступник начальника управління охорони праці, промислової безпеки, фізичного і громадянського захисту Міністерства енергетики і вугільної промисловості України, Київ, Україна

Папірник Руслан Богданович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (ДВНЗ «ПДАБА»), Дніпро, Україна, prb@pgasa.dp.ua

About the authors

Bulat Anatolii Fedorovich, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Director of the Institute, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, gtm.bulat@gmail.com

Bunko Tatyana Viktorivna, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, bunko2017@ukr.net

Shatov Serhii Vasylovych, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Professor, Professor in the Department of the Building and Road Machines, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnipro, Ukraine.

Kokoulin Ivan Yevgeniievych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine

Yashchenko Ihor Oleksiiovych, Candidate of Technscal Sciences (Ph.D.), Deputy Chief of the Department of Labour Protection, Industrial Safety, Physical and Civil Defence, Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Papirnyk Ruslan Bogdanovych, Candidate of Technscal Sciences (Ph.D.), Associate Professor in Department of Building Technology, State Higher Educational Institution "Pridneprovsk State Academy of Cvsyl Engineering and Architecture" (SHEI PSACEA), Dnipro, Ukraine, prb@pgasa.dp.ua

Аннотация. В ходе реализации мероприятий по спасению людей и ликвидации аварии, предусмотренных планом ликвидации аварий, возникает ситуация, когда эффективность работы горноспасательных частей снижается вследствие недостаточности информации об аварийных и угрожаемых участках шахты на момент принятия противоаварийных мер. Традиционные мониторинговые средства отсутствуют, а получение информации в ходе аварии человеком создает опасность для его жизни. Состояние аварийной зоны нестабильно, в ней происходят нестационарные аэрогазотермодинамические процессы, нарушаются геометрические характеристики и повышается загроможденность выработок, что делает невозможным проведение замеров параметров протекания аварийной ситуации человеком. Выход может быть найден в использовании робототехнических средств мониторинга. Такие средства (гусеничные, змеевидные, летающие) широко используются за рубежом, однако на угольных шахтах Украины пока не находят применения. Причем предпочтение следует отдавать беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) ввиду их высокой маневренности, независимости от характера неровности почвы при движении по маршруту обследования аварийной зоны, скорости перемещения и обработки информации, возможностей прямого наблюдения. Малые габариты аппарата и возможность оснащения его такими же малогабаритными измерительными приборами позволяют обследовать малодоступные участки аварийной зоны и передавать горному диспетчеру информацию, которая может использоваться для более обоснованного выбора заданий отделением ВГСС при условии безопасности их работы.. Применение БПЛА эффективно и для обследования состояния крупногабаритных поверхностных сооружений шахты и объектов строительной индустрии (высотных зданий, дымовых труб, телебашен), для чего при их отсутствии необходимо задействовать специально обученных альпинистов, что небезопасно. Аналогично работе БПЛА в подземных условиях они могут быть полезны в ходе разведки завалов при разрушении построек

и осуществлении спасательных работ. Однако необходимы дополнительные исследования, связанные с организацией передачи информации с БПЛА, управления ими на большом расстоянии, организации преодоления узких мест в горных выработках, завалов и т.д.

Ключевые слова: ликвидация аварий, горноспасательная служба, беспилотные летательные аппараты, безопасность горных работ, разрушение построек, разведка аварийной зоны.

Abstract. During realization of measures on rescuing people and elimination of accident stipulated by the plan of accident elimination, a situation can occur, when effectiveness of the mine rescue service work goes down because of lack of information about the accident and threatened areas in the mine at the time of making the decisions. Traditional monitoring facilities are absent, and obtaining information by a man during the accident creates a danger for his life. State of the accident site is unstable with unsteady air-, gas- and thermodynamic processes inside, geometry of the site is changing, and roadways are blocked up leading to impossibility to estimate development of emergency situation by a man. The way out is to use robot facilities for monitoring the situation. Such facilities (caterpillar, serpentine, flying) are widely used abroad, however, their application is not found yet in the Ukrainian coal mines. For the purposes above, the unmanned aerial vehicles (UAV) are preferred because of their high maneuverability, free flying despite of relief along the route of observance in the emergency area, speed of their moving and processing of information, and possibilities of direct viewing. Small dimensions of the UAV equipped with small measuring devices allow to monitor hard-to-reach sites in emergency area and to transfer to the mine dispatcher information which can be used for more grounded choosing the tasks for the mine-rescue services and for their safety work. The UAV are also effective for examining state of big surface objects of mine and objects of build industry (height buildings, smoke tubes, television towers), otherwise it is necessary to involve specially trained alpinists, though this is rather dangerous for them. Like the UAV work in underground terms they can be useful during prospecting of obstructions at destruction of buildings and realization of rescue works. However, additional researches are needed related to organization of information transfer from the UAV, control of them at long distance and their passing through the bottlenecks and obstructions in the mine tunnels, etc.

Keywords: elimination of accident, mine-rescue service, unmanned aerial vehicle, safety of mining works, destruction of buildings, secret service of emergency area

Стаття надійшла до редакції 12.06. 2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук О.П. Круковським