

## **ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВАРІАНТУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ**

**В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, доктори технічних наук  
Ю. М. Проценко, аспірант\***  
**Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
e-mail: lovvs@ukr.net**

**Анотація.** У статті представлений аналіз сучасних методів та засобів для дистанційного зондування землі (далі ДЗЗ) з метою отримання інформації про стан сільськогосподарських угідь. Одним з інноваційних рішень є безпілотні літальні апарати (далі БПЛА). Завдяки мініатюризації сучасного цифрового знімального і навігаційного обладнання БПЛА дозволяють проводити моніторинг с/г угідь та оперативно отримувати необхідні дані ДЗЗ. Розглянуто варіанти використання різних моделей БПЛА мультироторного та літакового типу. Представлена загальна класифікація наявних типів БПЛА, в залежності від необхідних цілей моніторингу та сфер застосування.

Наведені основні характеристики найбільш доступних та розповсюджених БПЛА на ринку України, якими є: надлегкі «DJI Phantom 4», «PD 1900» та легкі «DJI Matrice 100», «PD-1». Проведено аналіз практичного досвіду використання вказаних БПЛА для встановлення доцільності їхнього застосування в АПК України. Розраховано можливий об'єм виконаних робіт кожним з БПЛА, затрати часу для моніторингу необхідної площі та загальні витрати для проведення авіа-моніторингу. На основі розрахованих значень разових та загальнорічних витрат на проведення БПЛА-моніторингу визначено, що хоча витрати на використання різних БПЛА можуть відрізнятися більше ніж у три рази, загальні річні витрати, для моніторингу одиниці площі, є не значними та прийнятними для аграріїв.

Отримані у роботі результати доцільно використати для розробки рекомендацій стосовно вибору раціонального варіанту БПЛА для підприємств АПК України, які мають різний банк землі.

**Ключові слова:** дистанційне зондування землі, безпілотний літальний апарат, аерофотозйомка

\*Науковий керівник – доктор технічних наук В. С. Ловейкін

© В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, Ю. М. Проценко, 2017

**Постановка проблеми.** З часу запуску перших космічних супутників для цілей ДДЗ розвивається теорія і практика інтерпретації зображень на знімках з визначенням кількісних і якісних показників продуктивності с/г угідь [1]. Однак, як вартість супутникових знімків, так і собівартість застосування літаків та гелікоптерів, для локального моніторингу з повітря, на сьогоднішній день, є високою [2]. У наш час для ефективного ведення сільського господарства необхідні своєчасні та якісні дані, про загальний стан с/г угідь, оскільки близько половини витратних матеріалів у рослинництві використовуються не раціонально. Таку інформацію здатні давати БПЛА, вони є ефективним засобом моніторингу с/г угідь з повітря.

**Аналіз останніх досліджень.** На сьогодні основні видання стосовно БПЛА є англomовними. Дослідження вітчизняних вчених щодо динаміки їх польоту, раціоналізації конструкції та вибору оптимальних параметрів БПЛА майже відсутні. У роботі [1] описані можливості використання БПЛА для оперативного моніторингу продуктивності ґрунтів. У роботі наводиться теза про те, що дані зйомки наземного покриву з БПЛА, можуть розглядатися як більш дешева і оперативна альтернатива використанню супутникових даних при здійсненні картографування та моніторингу ґрунтів і посівів для окремих полів. Автори роботи [2] описали в цілому можливості використання авіації в сільському господарстві. Видання [3] присвячено керуванню малими БПЛА. Особливу увагу автори звернули на питання підвищення стійкості керування. Автори роботи [4] досліджували шляхи зниження енергозатрат для підвищення продуктивності та ефективності польотної місії. Видання [5] присвячене опису можливостей використання БПЛА для ДЗЗ. У роботі [6] авторами було проведено розрахунок параметрів та оцінка якості аерофотозйомки з БПЛА. У статті [7] розглянуті проблеми економічної ефективності аерофотозйомки з використанням безпілотних аерофотознімальних комплексів малого класу порівняно з класичною системою на базі літака АН-30. У статті [8] розглянуто варіанти побудови безпілотних авіаційних комплексів, наведено їхню класифікацію, проведено аналіз технічних характеристик та способів їхнього застосування. Показано, що коло завдань, які вирішують БПЛА, значно розширюється. Автори статті [9] представили аналіз можливостей застосування БПЛА для аерознімальних процесів. Однак, в даний час відсутня література стосовно вибору раціонального варіанту БПЛА для потреб підприємств АПК України.

**Метою досліджень** є розробка рекомендацій стосовно вибору БПЛА, доступних на ринку України, за допомогою яких можна

проводити систематичний моніторинг стану с/г угідь у господарствах із різною посівною площею. Враховуючи значну потребу у використанні БПЛА в умовах середніх та великих підприємств в АПК, дослідження даного питання є актуальними.

Завдання дослідження полягає у наступному: виконати класифікацію та навести аналіз основних характеристик БПЛА, що доступні на ринку України; розробити рекомендації щодо вибору раціонального варіанту БПЛА в залежності від площі моніторингу та витрат на їх експлуатацію.

**Результати досліджень.** Типове аерофотознімальне обладнання безпілотних літальних апаратів, як правило, містить цифрову камеру або відеокамеру, інколи розташовану на гіростабілізованій платформі, та інфрачервону чи спектральну камеру. У деяких випадках БПЛА обладнують лазерними сканерами [9]. Найбільш необхідними є матеріали мульти-, гіперспектральних і радіолокаційних зйомок, що дозволяють формалізувати зображення при обчисленні спектральних коефіцієнтів і складанні індексних карт. На таких картах відображають різні характеристики ґрунтів і рослинності, що дозволяє виконати комплексний аналіз стану с/г угідь і спроектувати заходи щодо підвищення їхньої продуктивності [1]. Оптимізувати проміжок часу між обстеженням, покращити точність та деталізацію знімків, а також підвищити оперативність обстеження полів, можливо за допомогою застосування БПЛА [3].

Для розуміння наявних типів БПЛА, в залежності від необхідних цілей моніторингу та сфер застосування, на рис. 1 представлена їхня класифікація [9].

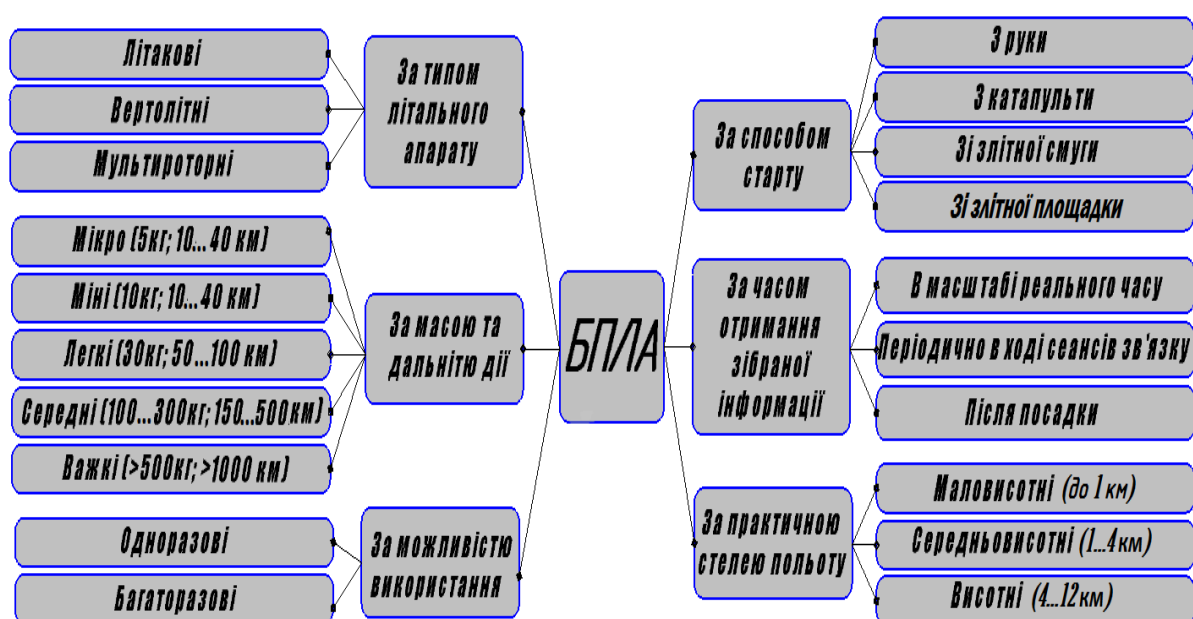


Рис. 1. Класифікація БПЛА.

Досягнення сучасних технологій у сфері мініатюризація цифрових знімальних систем забезпечує виконання зйомок навіть з БПЛА доступних сьогодні широкому колу користувачів [3]. Це дає можливість будь-якому аграрію отримувати максимально точну і детальну інформацію, як про загальний стан с/г угіддя так і про його локальні зони.

При використанні БПЛА мультироторного типу можна зафіксувати проблему з висоти всього лише одного метра на відстані до трьох кілометрів. БПЛА літакового типу дозволяють робити карти полів з розширенням у кілька сантиметрів на піксель, що дає можливість бачити навіть кількість сходів рослин на погонний метр. Жодна супутникова зйомка чи моніторинг з пілотованих літальних апаратів не може дати такого результату [14].

Для розуміння загального вигляду найбільш розповсюджених БПЛА в Україні, їхні зображення представлені на рис. 2.

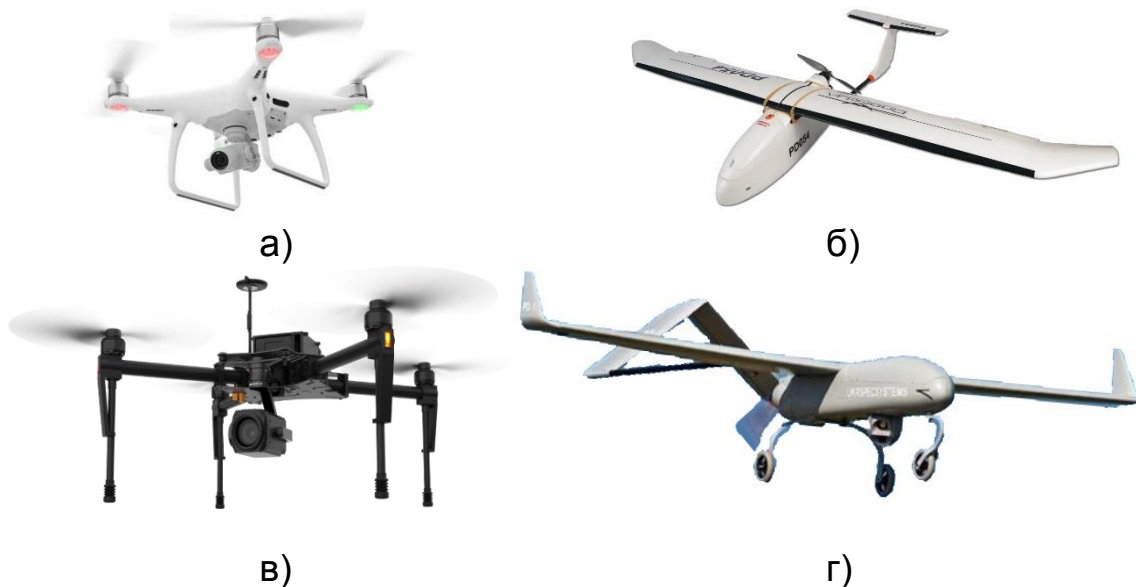


Рис. 2. Зовнішній вигляд найбільш розповсюджених БПЛА на ринку України: а) квадрокоптер DJI «Phantom 4»; б) БПЛА «PD 1900»; в) квадрокоптер DJI «Matrice 100»; г) БПЛА «PD-1».

В табл. 1 наведені основні характеристики вказаних БПЛА [12, 13]. З огляду на те, що оптимальний період авіа-моніторингу стану розвитку більшість с/г культур є 10 днів [2], та враховуючи несприятливі погодні умови, а також непередбачувані фактори, розрахуємо площу господарства, котру може обслуговувати один БПЛА. Розрахунок виконаємо за формулою:

$$S = s \cdot n \cdot f \cdot q, \quad (1)$$

де:  $S$  – площа господарства, га;  $s$  – площа моніторингу за добу, га;  $n$  – період моніторингу (10 днів);  $f$  – коефіцієнт, що враховує

несприятливі погодні умови (0,80);  $q$  – коефіцієнт, що враховує непередбачувані обставини (0,75).

### **1. Основні характеристики найбільш розповсюджених БПЛА.**

№ п/п	Критерії	«Phantom 4»	«PD1900»	«Matrice 100»	«PD-1»
1	Максимальний час польоту, хв	20	60	40	480
2	Максимальний радіус польоту, км	1,5	3,0	5,0	30
3	Максимальна швидкість польоту, км/год	60	60	70	150
4	Крейсерська швидкість польоту, км/год	40	50	60	100
5	Максимальна висота польоту, м	200	300	300	500
6	Вантажопід'ємність, кг	0,5	0,6	1,0	5,0
7	Сенсор (камера), Мп	12	16	20	30
8	Роздільна здатність з висоти 200 м, см/піксель	50	30	20	10
9	Площа моніторингу за добу, га	1000	2000	3000	8000
10	Орієнтовна вартість повного комплекту, тис грн	60	100	150	500

Числові значення коефіцієнтів  $f$  та  $q$  встановлені емпірично в процесі практичного використання БПЛА різних типів.

Виходячи із залежності (1) отримуємо наступні розрахункові площі господарств, на яких можуть бути використані різні БПЛА: «Phantom 4» – 6000 га; «PD 1900» – 12000 га; «Matrice 100» – 18000 га; «PD-1» – 48000 га. Враховуючи отримані результати розрахуємо кількість днів, необхідну для проведення моніторингу знайдених площ відповідно кожним з досліджуваних БПЛА. Розрахунок виконаємо за наступною формулою:

$$N = \frac{S}{s \cdot f \cdot q}, \quad (2)$$

де:  $N$  – кількість днів.

Результати розрахунків наведені у табл. 2. З отриманих даних у табл. 2 видно, що використання високопродуктивних БПЛА є недоцільним у невеликих господарствах, оскільки техніка буде задіяна у недостатній мірі. Має місце і зворотна закономірність: витрата великої кількості як технічних так і людських ресурсів у випадку використання малопродуктивних БПЛА у великих господарствах також недоцільна.

## 2. Кількість днів для моніторингу площі в залежності від БПЛА.

Площа, га	Кількість днів в залежності від БПЛА, шт			
	«Phantom 4»	«PD 1900»	«Matrice 100»	«PD-1»
6 000	10	5	3,5	1,3
12 000	20	10	7	2,5
18 000	30	15	10	3,8
48 000	80	40	27	10

Проведемо розрахунки необхідних витрат для виконання моніторингу на площі в 1 га, для кожного з досліджуваних БПЛА. Для цього розрахуємо спочатку витрати на політ БПЛА. У розрахунках прийемо такі дані:

- кількість польотів БПЛА, до його списання за регламентом, складає 1000 шт;
- дані вартості БПЛА та добовий виробіток отримані з табл. 1;
- дані з витратами на енергоносії та кількістю вильотів прийняті виходячи з рекомендацій [12, 13].

У табл. 3 наведені основні показники та приведені розрахунки витрат на політ БПЛА для разового моніторингу площі в 1 га.

### 3. Витрати на політ БПЛА, грн/га.

№ п/п	БПЛА	Кількість вильотів за день, шт.	Витрати на енергоносії		Амортизація БПЛА	Загальні витрати
			батареї	пальне		
1	Phantom 4	8	0,20	-	0,48	0,68
2	PD 1900	6	0,08	-	0,30	0,38
3	Matrice 100	8	0,08	-	0,40	0,48
4	PD-1	1	-	0,04	0,10	0,14

У подальшому визначимо витрати на заробітну платню (далі ЗП) операторів БПЛА. У процесі використання БПЛА наявна чітка закономірність: дорожче обладнання дає можливість отримувати більший добовий виробіток, але водночас присутня відмінність у ЗП операторів, через необхідність у відповідному кваліфікаційному рівні.

У табл. 4 наведені витрати на ЗП операторів БПЛА (без ПДВ) для разового моніторингу площі в розмірі 1 га (станом на кінець 2017 року).

Загальні витрати, необхідні для разового БПЛА-моніторингу площі в 1 га, розрахуємо за формулою:

$$TC = C_E + C_A + C_Z, \quad (3)$$

де  $C_E$  – витрати на енергоносії, грн/га;  $C_A$  – витрати на амортизацію БПЛА, грн/га;  $C_Z$  – витрати на ЗП операторів БПЛА, грн/га.

#### **4. Витрати на ЗП операторів БПЛА (без ПДВ).**

№ п/п	БПЛА	ЗП оператора БПЛА, грн/місяць	К-ть операторів БПЛА, чол.	Витрати на ЗП, грн/га
1	Phantom 4	6 000	1	0,33
2	PD 1900	8 000	1	0,22
3	Matrice 100	10 000	1	0,19
4	PD-1	12 000	2	0,16

Результати розрахунку разових та загальнорічних витрат на проведення БПЛА-моніторингу наведені в табл. 5. Для проведених розрахунків враховано, що період моніторингу впродовж року триває 32 декади (з 1 березня до 30 жовтня).

#### **5. Загальні витрати на використання БПЛА.**

БПЛА	Phantom 4	PD 1900	Matrice 100	PD-1
Разові витрати, грн/га	1,01	0,60	0,67	0,30
Річні витрати, грн/га	32,32	19,20	21,44	9,60

З наведеної таблиці 5 видно, що хоча витрати на проведення моніторингу різними БПЛА можуть відрізнятися більше ніж у три рази, загальні річні витрати, необхідні для моніторингу одиниці площі, є не значними та прийнятними на сьогоднішній день для аграріїв.

#### **Висновки**

Сучасні досягнення в області ДЗЗ при використанні аерофотозйомки за допомогою БПЛА та мініатюризації цифрового знімального і навігаційного обладнання дозволяють вести ефективний моніторинг с/г угідь з метою вчасного прийняття необхідних управлінських рішень та отримання економічного ефекту. В результаті аналізу різних видів БПЛА для потреб моніторингу с/г угідь та проведених розрахунків встановлено:

1) найбільш доступним БПЛА є надлегкий квадрокоптер DJI «Phantom 4», за допомогою якого можна проводити систематичний моніторинг в господарстві із загальною посівною площею до 6 000 га, але він є найбільш затратним з розрахунку питомої вартості моніторингу площі та потребує великої кількості людино-годин, що є не прийнятним у великих агрохолдингах;

2) середніми за доступністю, продуктивністю та затратами є БПЛА «PD 1900» та DJI «Matrice 100», за допомогою яких можна проводити моніторинг у господарствах із площею близько 12 000...18 000 га;

3) найдорожчим та найскладнішим в експлуатації є БПЛА «PD-1». З його допомогою можливо проводити моніторинг у компаніях із

земельним банком близько 50 000 га із найменшими затратами часу і витратами в процесі експлуатації.

### Список літератури

1. *Вернюк Ю. И.* Опыт применения локальной аэрофотосъемки, геодезических методов и ГИС технологий при исследовании почв и объектов окружающей среды для экологической экспертизы. Науки о Земле. 2012. Вып. 2. Москва. С. 7–12.
2. *Агаков В. В.* Авиация в сельском хозяйстве: история, техника, технология, экономика. Слобожанщина. Харьков. 2002. 403 с.
3. *Рэндал У.* Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Техносфера. Москва. 2015. 312 с.
4. *Tsourdos A.* Planning of Unmanned Aerial Vehicles. John Wiley & Sons Ltd. 2011. 181 p.
5. *Шрайнер К. А., Макаров И. В.* Использование возможностей беспилотных летательных аппаратов для дистанционного зондирования на примере открытых горных работ. Вестник СГГА. 2012. Вып. 18. Новосибирск. С. 47–50.
6. *Костюк А. С.* Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА. ГЕО-Сибирь-2010. 2010. Т. 4. Ч. 1. Новосибирск. С. 83–87.
7. *Никитин В.* Оценка экономической эффективности использования беспилотных аэрофотосъемочных комплексов. Вестник СГУГИТ. Новосибирск. 2013. Вып. 4 (24). С. 48–58.
8. *Гребеников А. Г.* Проблемы создания комплексов БПЛА в Украине. Открытые информационные и компьютерные технологии. 2009. С. 111–119.
9. *Глотов В., Гуніна А.* Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2014. Вип. 28. С. 65–70.
10. *Черепанов А. С., Дружинина Е. Г.* Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. Геоматика. 2009. Вып. 3. С. 28–32.
11. *Якушев В. П.* Применение дистанционного зондирования в системе точного земледелия. Вестник РАСХН. 2015. Вып. 1. С. 23–25.
12. *Drone.ua.* Расчёт затрат на БПЛА. ТОВ "Дрон агросервіс". Київ. 2014-2017. Режим доступа: <http://drone.ua>.
13. *Ukrspesystems.* Стоимость полёта БПЛА с двигателем внутреннего сгорания. ТОВ "Укрспецсистемс". Київ. 2015-2017. Режим доступа: <http://www.ukrspesystems.com>.
14. *AgriLab.* Безпілотні літаки на службі у аграріїв. ТОВ "Агрілаб". 2017. Режим доступа: <http://agrilab.com.ua/?p=7690>.

### Reference

1. *Vernyuk, Yu. I.* (2012). Experience in the application of local aerial photography, geodetic methods and GIS technologies in the study of soils and environmental objects for ecological examination. Earth Sciences. Vol. 2. Moscow. 7–12.
2. *Agakov, V. V.* (2002). Aviation in agriculture: history, technology, technology, economics. Slobozhanschina. Kharkiv. 403.
3. *Randal, U.* (2015). Small unmanned aerial vehicles: Theory and practice. Technosphere. Moscow. 312.
4. *Tsourdos, A.* (2012). Planning of Unmanned Aerial Vehicles. John Wiley & Sons Ltd. 181.



5. Shreiner, K. A., Makarov, I. V. (2012). Using the capabilities of unmanned aerial vehicles for remote sensing on the example of open mining operations. Herald of SGAA. Vol. 18. Novosibirsk. 47–50.
6. Kostyuk, A. (2010). Calculation of parameters and assessment of aerial photography quality from UAV. GEO-Siberia-2010. T. 4. Part 1. Novosibirsk. 83–87.
7. Nikitin, V. N. (2013). Estimation of economic efficiency of use of unmanned aerial survey systems. The bulletin of SSUGT. Vol. 4 (24). Novosibirsk. 48–58.
8. Grebenikov, A. (2009). Problems of creating UAV complexes in Ukraine. Open information and computer technologies. Kharkiv. 111–119.
9. Glotov, V., Gunina, A. (2014). Analysis of possibilities of using unmanned aerial vehicles for aeromonitoring. Modern achievements in geodetic science and production. Vol. 28. Lviv. 65–70.
10. Cherepanov, A. S., Druzhinina, E. G. (2009). Spectral properties of vegetation and vegetative indices. Geomatic. Vol. 3. 28–32.
11. Yakushev, V. P. (2015). Application of remote sensing in the system of precision farming. West. RASHN Vol. 1. 23–25.
12. Drone.ua. (2017). Calculation of expenses for UAV. LLC "Dron Agroservice". Kiev. Access mode: <http://drone.ua>.
13. Ukrspecsistemas. (2017). Flight UAV flight cost with internal combustion engine. LLC "Ukrspetsystems". Kiev. Access mode: <http://www.ukrspecsystems.com>.
14. Agrilab. (2017). Unmanned planes on the service of agrarians. LLC "Agrilab". Access mode: <http://agrilab.com.ua/?p=7690>.

## **ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ**

***В. С. Ловейкін, Ю. А. Ромасевич, Ю. Н. Проценко***

**Аннотация.** *В статье представлен анализ современных методов и средств для дистанционного зондирования земли (далее ДЗЗ) с целью получения информации о состоянии сельскохозяйственных угодий. Одним из инновационных решений является беспилотные летательные аппараты (далее БПЛА). Благодаря миниатюризации современного цифрового съемочного и навигационного оборудования, БПЛА дают возможность проводить мониторинг с/х угодий и оперативно получать необходимые данные ДЗЗ. Рассмотрены варианты использования различных моделей БПЛА мультироторного и самолетного типа. Представлена общая классификация имеющихся типов БПЛА, в зависимости от необходимых целей мониторинга и сфер применения.*

*Приведены основные характеристики наиболее доступных и распространенных БПЛА на рынке Украины, которыми являются: сверхлегкие «DJI Phantom 4», «PD 1900» и легкие «DJI Matrice 100», «PD-1». Проведен анализ практического опыта использования указанных БПЛА для определения целесообразности их применения в АПК Украины. Рассчитан возможный объем выполненных работ каждым из БПЛА, затраты времени для*

мониторинга необходимой площади и общие издержки на проведение авиамониторинга. На основании рассчитанных значений разовых и общегодовых расходов на проведение БПЛА-мониторинга определено, что хотя затраты на использование различных БПЛА могут отличаться более чем в три раза, но общие годовые расходы для мониторинга единицы площади, являются не значительными и приемлемыми для аграриев.

Полученные в работе результаты целесообразно использовать для разработки рекомендаций по выбору рационального варианта БПЛА для предприятий АПК Украины, которые имеют различный банк земли.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование земли, беспилотный летательный аппарат, аэрофотосъемка

## **JUSTIFICATION THE RATIONAL UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR REMOTE SENSING OF AGRICULTURAL LANDS**

**V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, Yu. M. Protsenko**

**Abstract.** *The article presents an analysis of modern methods and meanings of remote sensing of the earth (further RSE) for obtaining information of the condition of agricultural lands. One of the innovative solutions is unmanned aerial vehicles (further UAVs). Due to the miniature of modern digital shooting and navigation equipment, UAVs allow carry out monitoring of agricultural lands and rapidly obtain the RSE data. The use of the different variants and models of multi-type and aircraft-type UAV's has been considered. The general classification of the existing types of UAVs, depending on the desired monitoring objectives and areas of application, has been presented.*

*The main characteristics of the most widely available and widely distributed UAVs in the Ukrainian market are: ultra-light DJI Phantom 4, PD 1900 and lightweight DJI Matrice 100, PD-1. The analysis of practical experience of use of the UAVs for the purpose of determining the feasibility of their application in the agroindustrial complex of Ukraine has carried out. The estimated volume of work performed by each of the UAV, the time spent on monitoring the required area and the total cost for monitoring has been calculated. On the basis of the calculated values of one-time and annual expenses for the implementation of UAV-monitoring, it is determined that although the cost of using different UAVs can vary by more than three times, the total annual costs for unit area monitoring are not significant and acceptable to farmers.*

*The results obtained in the work should be used in order to develop recommendations for choosing a rational version of UAV for the agroindustrial companies of Ukraine, with various volume of lands.*

**Key words:** *remote sensing of land, unmanned aerial vehicle, aerial photography*