

УДК 656.7.086

ОПТИМІЗАЦІЯ МОДЕЛЬНОГО РЯДУ ТА ХАРАКТЕРИСТИК БПЛА ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Ковальов Ю.М., д.т.н.

Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну (Україна),

Шмельова Т.Ф., д.т.н.

Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна),

Свірко В.О. к.психол.н.

Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна),

Богомаз К.О.

Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну (Україна)

Обґрунтовано: актуальність теми, мета дослідження, задачі, зроблено огляд публікацій.

Сформульована оптимізаційна задача, визначено її особливості, послідовність та методи розв'язання.

Спочатку розглядаються поточні та перспективні напрями використання БПЛА у агропромисловому секторі, їх відносна доля та вагові коефіцієнти у загальному переліку робіт.

Розглядаються технічні засоби існуючих БПЛА та проблеми, що виникають при їх експлуатації. Після аналізу робиться висновок щодо функціональності та технічних вимог для перспективних БПЛА.

Далі, наводяться дані про цільових споживачів БПЛА на вітчизняному ринку, проводиться їх класифікація та визначаються специфічні потреби.

Наводиться перелік компаній-дистриб'юторів, які імпортують БПЛА сільськогосподарського призначення для вітчизняного ринку, а також дані про існуючі моделі БПЛА.

Аналізується, чи задовольняють сучасні БПЛА потребам цільових вітчизняних споживачів, розглядаються можливості оптимізації модельних рядів БПЛА для різних груп споживачів, обґрунтовуються та наводяться відповідні пропозиції, які зведено у окрему таблицю.

Розглядається оптимізація організації одиночної та групової роботи БПЛА. Оптимізація прямо пов'язана із застосуванням нових технологій зв'язку, управління та штучного інтелекту.

Наводяться приклади оцінювання ефективності використання БПЛА у порівнянні з пілотованими ЛА для проведення авіахімічних робіт, а також представлення, обробки та аналізу результатів.

У висновках оцінюється теоретична та практична значимість отриманих результатів та визначаються напрями подальших досліджень.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, сільське господарство, оптимізація, оцінювання, модельний ряд.

Постановка проблеми. За докризовими оцінками, світовий ринок БПЛА сільськогосподарського призначення найближчим часом розвиватиметься так, як показано на рис. 1 [1]. При цьому доля БПЛА для сільського господарства уже зараз складає 32% і є другою після ВПК – 65% [2], тобто є домінуючою у цивільному секторі.

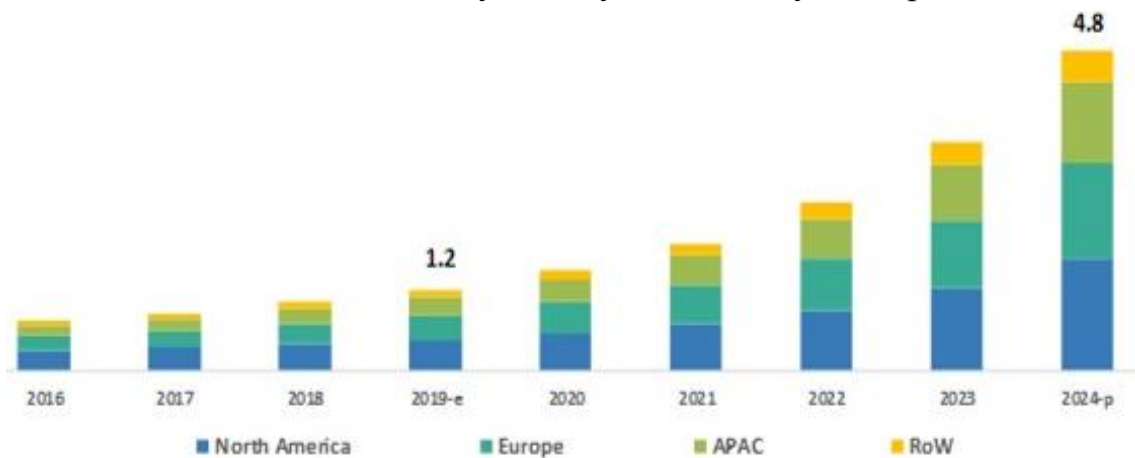


Рис. 1. Світовий ринок сільськогосподарських БПЛА, млрд. \$

Орієнтація конструктивних, ергономічних, стилістичних та інших рішень на потреби цільових споживачів є домінуючою тенденцією у розвитку промислового дизайну. Її реалізація передбачає ґрунтовне вивчення характеристик існуючих БПЛА відповідності актуальним і перспективним потребам цільових споживачів, узгоджену оптимізацію технічних характеристик та модельних рядів БПЛА, покращення організації їх роботи. Для цього необхідне залучення математичних методів дослідження і обробки, а також системного підходу для упорядкування результатів та проведення оптимізації.

Відтак, задачі оптимізації модельного ряду та характеристик БПЛА для агропромислового сектору є актуальними для розвитку методів геометричного моделювання та практично значимими для індустрії БПЛА, що є особливо важливим в умовах економічної кризи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявні дослідження і публікації можна розділити на п'ять груп:

1) статистичні дані сільськогосподарських підприємств України та прогнози використання ними БПЛА [3-5]. Слід робити суттєву поправку на умови після епідемії COVID-19 та світової економічної кризи: кількість фермерських господарств скоротиться, так само, як і

кількість коштів у всіх потенційних замовників БПЛА.

2) дані про виробників БПЛА та характеристики апаратів [6-7]. Кількість світових виробників на вітчизняному ринку скоротиться, кількість вітчизняних після кризи може зрости.

3) методи оптимізації. Зважаючи на особливостями задачі, найбільш перспективною вбачається «інноваційна оптимізація» [8].

4) прийняття рішень та управління БПЛА та їх групами [9-11].

5) методи експертного оцінювання [9-14]. Для оцінки вихідних умов, критеріїв оптимізації та вагових коефіцієнтів, проміжних та кінцевих результатів цілком достатньо класичних методів оцінювання, обробки та аналізу.

Формулювання цілей статті. Сформулювати оптимізаційну задачу, визначити її особливості та послідовність розв'язання. Надати пропозиції щодо збалансованого модельного ряду БПЛА Навести приклади оцінювання ефективності БПЛА.

Основна частина.

Оптимізаційна задача. Метою оптимізації є удосконалення характеристик БПЛА, покращення модельних рядів для різних груп цільових споживачів, збільшення ефективності використання апаратів.

Особливостями оптимізаційної задачі є: обмеженість ресурсів, багатокритеріальність, якісна відмінність окремих показників та критеріїв, що потребує використання експертного оцінювання, технічний прогрес і пов'язана із ним можливість «інноваційної оптимізації», необхідність використання окремих методів оптимізації для вирішення спеціальних задач.

Звідси випливає, що стратегією оптимізації має бути розбиття розв'язання на окремі етапи, із визначенням для кожного з них відносно однорідних показників, критеріїв та методів.

Послідовність розв'язання оптимізаційної задачі:

1. Визначається перелік поточних та перспективних задач;
2. Аналізуються можливості сучасних БПЛА для їх вирішення;
3. Обґрунтовуються рекомендації стосовно характеристик перспективних БПЛА, як основи для технічного завдання;
4. Визначаються групи цільових споживачів та їх потреби;
5. Аналізується, з точки зору відповідності цільовим потребам, представлені на вітчизняному ринку модельні ряди БПЛА;
6. Обґрунтовуються рекомендації, направлені на оптимізацію модельних рядів;
7. Виконується «інноваційна оптимізація» використання БПЛА – удосконалюються як технології, так і методи управління;
8. Проводиться експертне оцінювання та приймається рішення щодо продовження удосконалення на поточному етапі або

переходу до наступного етапу.

Розглянемо кожен із етапів оптимізації окремо.

Задачі для БПЛА доцільно розділити на кілька груп:

1) збір даних про контури і рельєфи полів, невикористану площу (рис.2), аерофотозйомка (конкурент – авіаційні та супутникові засоби дистанційного зондування землі).

2) виконання авіахімічних робіт (конкурент – пілотована авіація).

3) операції точного землеробства: визначення стану і хімічного складу рослин, розпорошення добрив і отрут, точковий полив, оцінка врожайності (рис. 2). Переваги БПЛА, у порівнянні із наземними засобами, полягають у оперативності, доступності, точності робіт.

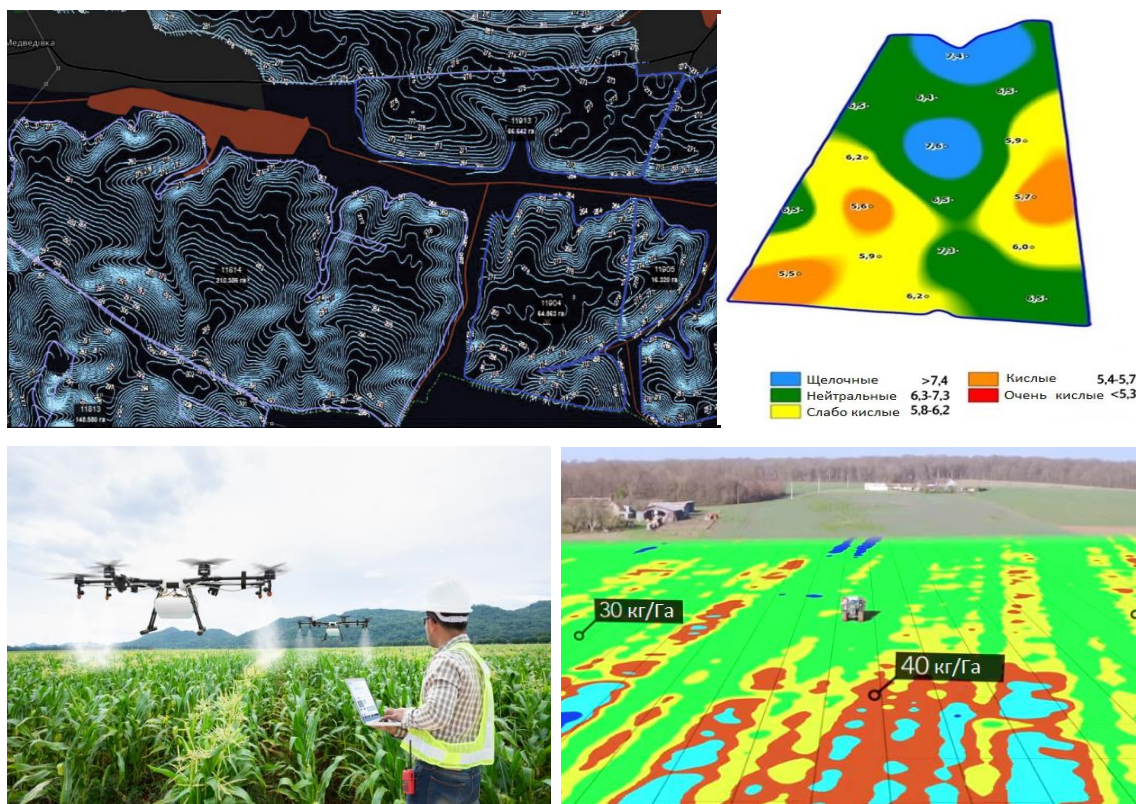


Рис. 2. БПЛА: моніторинг полів та точне землеробство

4) доставка пошти, перевезення продукції, яка швидко псується;

5) боротьба із пожежами (виявлення задимлень, вогнищ пожеж, обстеження та оконтурення територій пожеж та задимлення, аналіз стану повітря, визначення зони ураження, гасіння пожеж в місцях, недоступних для пожежників, прокладання захисних смуг). Це також сфера конкуренції з пілотованою авіацією, де БПЛА має переваги у кількості засобів моніторингу, оперативності, безпеці, точності, вартості, координації дій.

6) перспективним є не обмежуватися боротьбою з пожежами, а включати БПЛА до державних програм моніторингу, прогнозування та попередження техногенних та природних надзвичайних ситуацій, а

також їх ліквідації і боротьбі з наслідками. Ідеальною була б мережа, що включала б супутники, авіацію, наземні засоби, БПЛА. При цьому важливо не перевантажувати дрони спеціальною апаратурою, а використовувати встановлене обладнання, технології інтернету речей, та мати можливість перехоплення управління апаратами державними службами у визначених законодавством випадках.

7) у зв'язку із запланованим владою розпродажем українських земель, актуальною стане проблема запобігання збройних сутичок при боротьбі із рейдерськими захопленнями.

Наведемо ранжирування важливості цільових задач та засобів БПЛА (бали – від 1 до 5; менше – краще, шкала ранжування табл. 1, рис.3) та перехід до коефіцієнтів значущості (ефективності задачі і можливості застосування БПЛА)

Таблиця 1

Ранжирування задач та оцінки можливостей БПЛА

Ранги	Задачі						
	1	2	3	4	5	6	7
Важливість задачі, ранги	5;6;7	5;6;7	1;2	5;6;7	3;4	1;2	3;4
Достатність можливостей, ранги	1	2;3	2;3	4;5;6	4;5;6	7	4;5;6
Важливість задачі, середні ранги	6	6	1,5	6	3,5	1,5	3,5
Достатність можливостей, середні ранги	1	2,5	2,5	5	5	7	5
Важливість задачі, коефіцієнти	0,07	0,07	0,23	0,07	0,16	0,23	0,16
Достатність можливостей, коефіцієнти	0,25	0,20	0,20	0,11	0,11	0,04	0,11

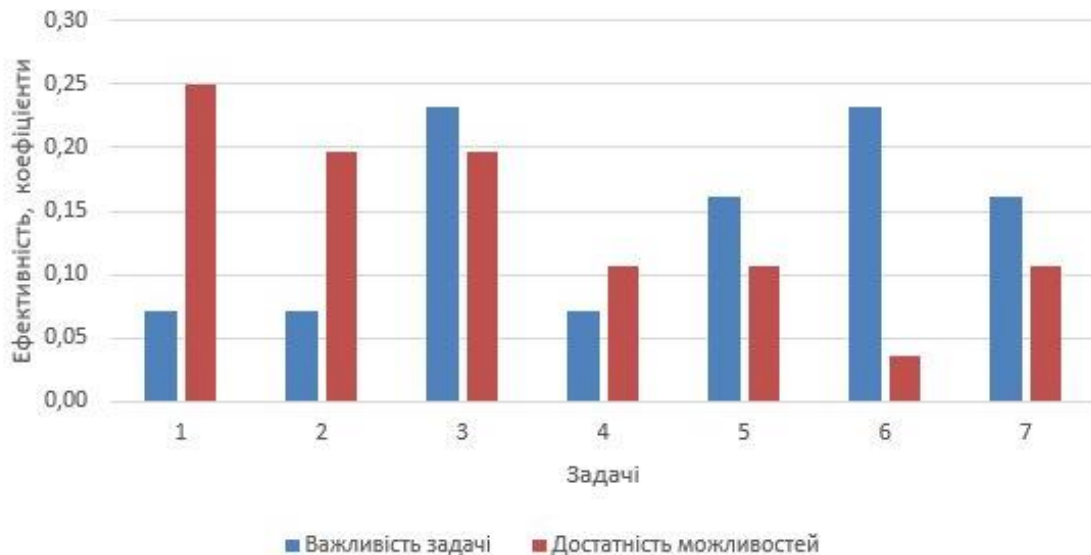


Рис. 3. Важливості цільових задач і можливостей БПЛА

Звідси впливає пріоритетність розробки засобів для точного землеробства, дій у надзвичайних ситуаціях, забезпечення безпеки як для одиничних, так і для групових польотів БПЛА [13-15].

Розглянемо з цієї точки зору *технічні засоби і проблеми БПЛА*. Можна констатувати: наявні платформи літакового та коптерного

типу; засоби моніторингу у різних спектральних діапазонах, позиціонування, управління, зв'язку; комплекти пристроїв для точного землеробства, доставки вантажів, гасіння пожеж; програмне забезпечення, таке, як Pix4DFields (рис. 4).



Рис. 4. Типи сільськогосподарських БПЛА [6]

Найбільшими проблемами є: створення систем управління, що забезпечують автономні дії та дії під керуванням оператора для групових польотів з високою точністю позиціонування, супротивом вітру, подоланням перешкод; розробка засобів та протоколів обміну даними, що забезпечують захищений від несанкціонованого доступу зв'язок між БПЛА, БПЛА та оператором; удосконалення систем розпізнавання образів та їх інтеграція до систем управління; розробка легких, потужних, емних, безпечних джерел та акумуляторів енергії.

Вимоги до перспективних БПЛА впливають із цього переліку: вирішення перших двох актуальне для спеціалізованих БПЛА важкого класу та / або призначених для групової роботи; вирішення третьої та четвертої (як і зниження ваги платформ і приладів, удосконалення обладнання тощо) – для всіх класів БПЛА.

Вітчизняні споживачі та їх потреби. Згідно законодавства,

сільськогосподарськими підприємствами є: домашні господарства; приватні підприємства (фермерські та приватні сільськогосподарські); підприємства колективної власності (виробничі та обслуговуючі кооперативи); господарські товариства (ТОВ та АТ) [3]. Перші три види більш характерні для малого і середнього бізнесу; господарські товариства є більш привабливими для залучення іноземних інвестицій.

Класифікуємо споживачів за розмірами земельних ділянок та потребою у БПЛА. 95% домашніх господарств мають земельні ділянки до 10 га; 70% з них – до 1 га [4], даючи 44,9% загального обсягу с/г продукції. До 60% фермерських господарств мають ділянки від 100 до 2 тис. га; п'ять найбільших господарських товариств – від 261 тис. га до 653 тис. га [5]. Додамо також дві проміжні позиції – від 10 до 100 га та від 10 тис. га до 100 тис. га незалежно від форми організації. Потреби споживачів у БПЛА зведені до табл. 2; нумерація задач відповідає табл.1; використана міжнародна класифікація БПЛА [7].

Таблиця 2

Цільові споживачі та їх потреби у БПЛА

Споживачі (за площами ділянок)	Потреби у БПЛА (вантажопідйомність, кг, / дальність польоту, км)
< 10 га	Універсальні коптери (К) для задач 3, 4, Ultra-light near range (ULNR1, < 15/< 30)
10 – 100 га	Універсальні К для задач 3, 4, ULNR2 (< 45/< 30)
100 – 10 000 га	Універсальні К для задач 1- 4, спеціалізовані – для задач 5, 7 Light of short range (LSR, < 75/10-30)
10 000 – 100 000 га	Спеціалізовані К та літаки (Л) для задач 1-7, Medium short range, (MSR, < 150/80-200)
> 100 000 га	Спеціалізовані К та Л для задач 1-7, MSR, (< 450/200-500)

Додаткові потреби: 1) орієнтація на обробку характерних для вітчизняного землеробства культур; 2) адаптованість під національне законодавство, стандарти, норми; 3) ціна, вартість експлуатації, зберігання та технічне обслуговування згідно статків споживачів.

Аналіз модельних рядів БПЛА. На світовому ринку представлені 25 виробників, 10 найбільших [1]: DJI (China), PrecisionHawk (US), Trimble Inc. (US), Parrot Drones (France), 3DR (US), AeroVironment, Inc. (US), Yamaha Motor Corp. (Japan), DroneDeploy (US), AgEagle Aerial Systems, Inc. (US; в Україні: DJI, Sentera, Agribotix, Parrot Drones, DroneDeploy; вітчизняні: ІТЕС, AeroDrone, MegaDrone, Matrix UAV, Kray Technologies, AgriEYE, AgroDrone.

Модельні ряди вказаних виробників включають дрони різних спеціалізацій, серед яких є окремі моделі або тільки обладнання сільськогосподарських БПЛА; переважають моделі для розв'язання задач 1 і 2. MultiCopter Ukraine (<https://multicopter.com.ua>) пропонує

апарати ULNR для задачі 3, які теж не перекривають всіх потреб.

За результатами проведеного SWOT-аналізу, констатуємо, що за вантажопідйомністю, дальністю і деяким іншим характеристикам існуючі платформи задовольняють вказаним у табл. 2 потребам, а за універсальністю – ні. У цілому модельні ряди далекі від повноти і потрібного функціоналу. Щодо виконання додаткових умов, то частково реалізована лише третя з них.

Оптимізація модельних рядів. Збалансований модельний ряд має включати максимально уніфіковані і взаємозамінні апарати, комплекти обладнання, засоби управління та протоколи обміну даними для всіх категорій господарств. Рекомендації щодо типів і кількості моделей, їх функціональності та особливостей зведено у табл. 3.

Таблиця 3

Рекомендації збалансованого модельного ряду БПЛА
для вітчизняного ринку

Спо- жи- вачі	Характеристики			
	Мо- делі	Клас	Тип	Базові функції
< 10 га	M1	ULNR1	К	<i>Позиціонування:</i> GPS, прив'язка до рядів рослин, кущів, дерев <i>Розпізнавання:</i> рядів рослин, кущів, дерев, перешкод <i>Управління оператора:</i> призначення контрольних точок, визначення операцій <i>Штучний інтелект:</i> зліт, посадка, вибір висоти та маршруту, подолання перешкод, компенсація вітру, моніторинг, аналіз, виконання операцій, самодіагностика <i>Зв'язок:</i> захищений канал з оператором <i>Аналіз:</i> ґрунту, рослин, прогноз врожаю <i>Операції:</i> внесення добрив, отрут проти комах, точковий полив, перевезення дрібного вантажу <i>Інше:</i> змінні комплекти обладнання
10 – 100 га	M 2	ULNR2	К	<i>Позиціонування:</i> GPS, точна прив'язка до окремих рослин, кущів, дерев <i>Розпізнавання:</i> окремих рослин, кущів, дерев, перешкод <i>Управління оператора:</i> призначення контрольних точок, визначення операцій <i>Штучний інтелект:</i> зліт, посадка, вибір висоти та маршруту, подолання перешкод, компенсація вітру, моніторинг, аналіз, розумне виконання операцій для окремих рослин, самодіагностика <i>Зв'язок:</i> захищений канал з оператором <i>Аналіз:</i> ґрунту, рослин, прогноз врожаю <i>Операції:</i> внесення добрив, отрут проти комах, точковий полив для окремих рослин, перевезення дрібного вантажу <i>Інше:</i> змінні комплекти для розумних операцій, підвищений час перебування у повітрі
100 – 10 00	M 2	ULNR2	К	Аналогічно, плюс прийом даних від M3 та групове управління польотами

0 га	M 3	LSR	К	<p><i>Позиціонування:</i> GPS</p> <p><i>Розпізнавання:</i> об'єкти та ситуації моніторингу (контури полів, рельєф, задимлення, пожежа, рейдерський напад тощо), система свій-чужий</p> <p><i>Управління оператора:</i> призначення програми польоту</p> <p><i>Штучний інтелект:</i> зліт, посадка, вибір висоти та маршруту, компенсація вітру, моніторинг, картографування, метеорологія, аналіз об'єктів та ситуацій, передача даних групі апаратів, виклик поліції та МНС, самодіагностика</p> <p><i>Зв'язок:</i> захищений канал з оператором, захищений інтернет речей</p> <p><i>Аналіз:</i> ґрунту, рослин, прогноз врожаю, небезпечних ситуацій</p> <p><i>Операції:</i> різні картографування, передача даних групі апаратів, виклик поліції та МНС, перевезення вантажу</p> <p><i>Інше:</i> змінні комплекти для обладнання на замовлення</p>
	M4	LSR	Л	Аналогічно М3, потребує пристрою для запуску, посадкової смуги, ангару
10 00 0 – 100 0 00 га	M 5	MSR1	К	<p><i>Позиціонування:</i> GPS, прив'язка до смуг із кількох рядів рослин, кущів, дерев</p> <p><i>Розпізнавання:</i> смуг рослин, кущів, дерев, перешкод</p> <p><i>Управління оператора:</i> призначення контрольних точок, визначення операцій</p> <p><i>Штучний інтелект:</i> зліт, посадка, вибір висоти та маршруту, подолання перешкод, компенсація вітру, груповий політ, моніторинг, аналіз, виконання операцій, самодіагностика</p> <p><i>Зв'язок:</i> захищений канал з оператором, захищений інтернет речей</p> <p><i>Аналіз:</i> ґрунту, рослин, прогноз врожаю</p> <p><i>Операції:</i> авіахімічні роботи, перевезення вантажу</p> <p><i>Інше:</i> змінні комплекти обладнання</p>
	M 6	MSR1	Л	Аналогічно М5, потребує пристрою для запуску, посадкової смуги, ангару
	M7	MSR1	К	Аналогічне М3, групове управління і зв'язок із МЧС та поліцією обов'язкові, підвищені дальність/час польоту та вантажопідйомність
	M 8	MSR1	Л	Аналогічне М3, групове управління і зв'язок із МЧС та поліцією обов'язкові, підвищені дальність/час польоту та вантажопідйомність, потребує пристрою для запуску, посадкової смуги, ангару
	M9	MSR1	К	<p><i>Позиціонування:</i> GPS, прив'язка до об'єктів</p> <p><i>Розпізнавання:</i> пожеж, задимлення, зон ураження</p> <p><i>Управління оператора:</i> призначення контрольних точок, визначення операцій; управління оператором МНС</p> <p><i>Штучний інтелект:</i> зліт, посадка, вибір висоти та маршруту, подолання перешкод, компенсація вітру, моніторинг, аналіз, виконання операцій, груповий політ, самодіагностика</p> <p><i>Зв'язок:</i> захищений канал з оператором, пріоритетний – з оператором МНС, захищений інтернет речей</p> <p><i>Аналіз:</i> типу і складності надзвичайної ситуації</p>

				<i>Операції:</i> моніторинг, аналіз повітря, попередження, гасіння пожеж, ліквідація НС <i>Інше:</i> змінні комплекти обладнання, підвищені вантажопідйомність, дальність, час польоту
	М 10	MSR1	Л	Аналогічно М8, потребує пристрою для запуску, посадкової смуги, ангару
> 100 0 00 га	М 11	MSR2	К	Аналогічні моделям М5-М10; підвищені вантажопідйомність, дальність, час польоту
	М 12	MSR2	Л	
	М 13	MSR2	К	
	М 14	MSR2	Л	
	М15	MSR2	К	
	М16	MSR2	Л	

Фірмовим стилем апаратів М1-М16 міг би стати біонічний (прообраз – комахи), жовто-чорні кольори (бджоли) для помітності, підвищена увага до ергономіки та безпеки, особливо для М1 та М2.

«Інноваційна оптимізація». Класичні методи оптимізації орієнтовані на задачі, для яких вагові коефіцієнти показників, цільові функції та обмеження є постійними; для БПЛА це не має місця. Інноваційною оптимізацією називається теоретико-експериментальне удосконалення технологічної системи на основі цілеспрямованого розширення області згоди за рахунок введення інновацій та пошуку в ній «гарних» рішень, обмеженого умовами досягнення мети удосконалення та величиною інноваційних ресурсів [8].

Пояснимо на простому прикладі різницю між класичною та інноваційною оптимізацією. Нехай враховуються параметри x_1 та x_2 , визначено окремі цільові функції (ЦФ) ξ_1 та ξ_2 і узагальнена цільова функція $\xi(\xi_1, \xi_2)$, набір обмежень A . Множина можливих рішень X (з обмеженнями A) розбивається на область згоди X_1 та область компромісів X_2 . Мінімум узагальненої ЦФ, який відповідає найкращому рішенню x^1 , знаходиться в області компромісів (Парето-оптимальних рішень). Достовірність цього рішення залежить від правильного визначення ваги оціночних показників та вигляду узагальненої ЦФ; коли вагові коефіцієнти показників і співвідношення окремих ЦФ змінюється, рішення x^1 перестає бути оптимальним. В області згоди знаходиться рішення x^2 , яке відповідає мінімуму однієї з окремих ЦФ; при цьому друга окрема ЦФ не збільшується. Назвемо таке рішення *гарним*. Гарне рішення не залежить від співвідношення вагових коефіцієнтів та узагальненої ЦФ. Ця властивість лежить в основі інноваційної оптимізації:

1. Визначаються параметри x_1 , x_2 , обмеження A^1 , окремі цільові функції ξ^1_1 , ξ^1_2 . Узагальнена ЦФ ξ не визначається.

2. Знаходиться мінімум однієї з окремих ЦФ (наприклад, ξ^1_1), при умові, що інша окрема ЦФ не збільшується. Йому відповідає перше гарне рішення x^1 .

3. Вводиться *інновація* p_1 , яка змінює характер першої окремої

ЦФ $\xi^2_1=(p_1, x_1)$ так, що її мінімум зміщується направо, а область згоди збільшується. Набір обмежень також може змінюватися: $A^1 \rightarrow A^2$.

3. Для нових умов визначається друге рішення x^2 . Вводиться наступна інновація p_2 , яка змінює характер ξ^1_2 або ξ^2_1 і т.п., після чого цикл повторюється.

4. Умовою припинення ітерацій може бути досягнення бажаного рівня показників системи, або вичерпання інноваційних ресурсів.

Отримане в результаті гарне рішення може бути навіть кращим за Парето-оптимальне рішення. Ще однією перевагою інноваційної оптимізації є те, що вона безпосередньо вказує «вузькі місця», де необхідно ввести конструктивні та інші зміни.

БПЛА є втіленням конструктивних і технологічних компромісів; інноваційне вирішення однієї із зазначених вище проблем – наприклад, шляхом бездротової передачі енергії з джерела до апарату – дозволило б зменшити вагу апарату і перерізи несучих конструкцій, краще протистояти вітру, розмістити більш складне розумне обладнання – тобто значно розширити область згоди і змінити область компромісів.

Експертне оцінювання. Наведемо приклад розрахунку ефективності ЛА різних типів та БПЛА при авіахімічних роботах, де конкурентом М5, М6, М11, М2 є пілотована авіація, за допомогою методу експертного оцінювання за критеріями: безпека, ефективність, економічна ефективність, регулярність [11,13]. Результати експертного оцінювання за критерієм «безпека» наведено в табл.4 і рис.4.

Таблиця 4

Результати експертного оцінювання за критерієм «безпека»
для БПЛА та ЛА

Експерти	Літаки			
	літаки	НЛА	БПЛА	вертольоти
	w1	w2	w3	w4
1	4	1,5	1,5	3
2	4	1	2	3
3	4	2,5	1	2,5
4	4	2	1	3
5	4	2	2	2
сума	20	9	7,5	13,5
R_{exp}	4	1,8	1,5	2,7
R'_{exp}	4	2	1	3
D_i	0	0,325	0,25	0,2
σ_i	0	0,57009	0,5	0,44721
$v_i \%$	0	31,6715	33,3333	16,5635
C	0,25	0,8	0,875	0,575
w	0,1	0,32	0,35	0,23

Для оцінки значущості визначається індивідуальна і групова думки, узгодженість думки експертів, коефіцієнти значущості (рис.4).

Далі, була визначена ефективність (переваги) різних видів ПС: літаків класу малої авіації, вертольотів, надлегких літальних апаратів (НЛА), безпілотних літальних апаратів (БПЛА) за всіма переліченими вище критеріями (табл. 5, рис.5).

Найбільш ефективним є використання БПЛА.

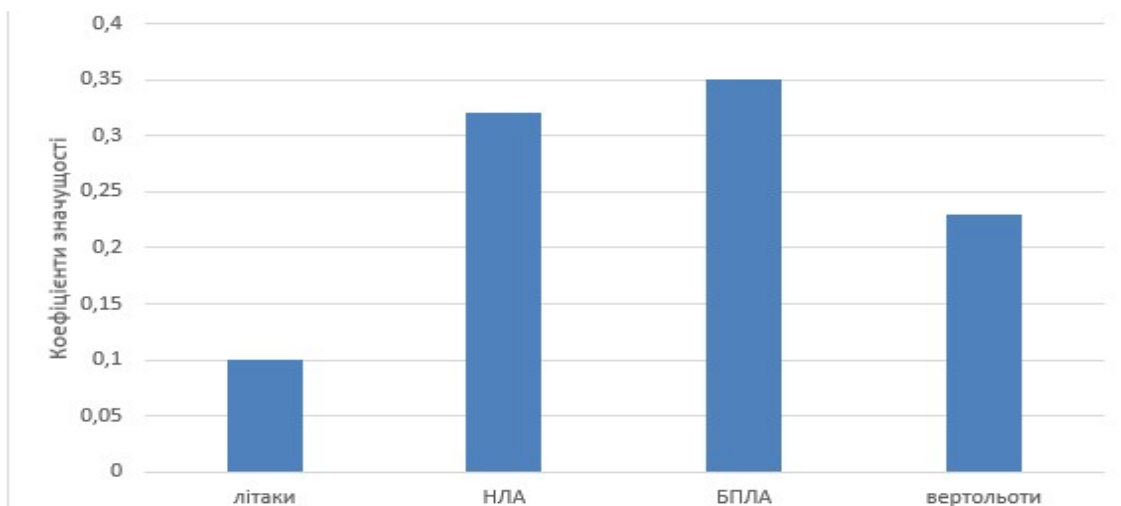


Рис. 4. Значущість вибору ЛА за критерієм «безпека»

Таблиця 5

Вагові коефіцієнти ефективності ЛА для авіахіробіт за критеріями безпеки, ефективності, економічної ефективності, регулярності

Критерії	Вагові коефіцієнти ефективності ЛА			
	літаки	НЛА	БПЛА	вертольоти
безпека	0,1	0,3	0,4	0,2
економічна ефективність	0,12	0,31	0,36	0,21
ефективність	0,12	0,33	0,35	0,2
регулярність	0,37	0,17	0,13	0,33

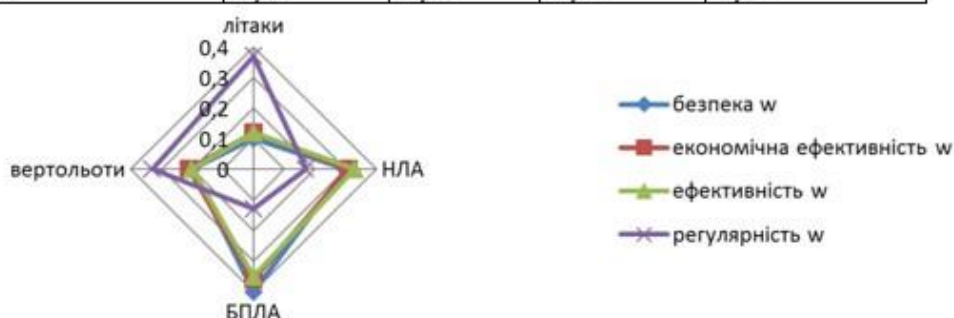


Рис. 5. Графічне представлення ефективності застосування ЛА в авіахіроботах

Висновки. Проведена оптимізація модельних рядів БПЛА на вітчизняному ринку дозволяє визначити збалансований модельний ряд, який перекриває потреби усіх цільових споживачів, а також визначити для кожного із споживачів найбільш ефективний набір апаратів. Характеристики апаратів М1-М16 є основою для складання технічних завдань. Інноваційна оптимізація дозволяє комплексно

покращити експлуатаційні показники апаратів, а процедура експертного опитування контролювати процес оптимізації, вчасно переходячи від одного етапу до іншого. Для авіахімробіт найбільш ефективним є використання БПЛА. Розробка дизайну БПЛА запропонованого модельного ряду планується у ході дипломного проектування.

Література

1. Agriculture Drones Market by Offering (Hardware and Software & Services), Application (Precision Farming, Livestock Monitoring, Precision Fish Farming, and Smart Greenhouse), Component, and Geography - Global Forecast to 2024. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agriculture-drones-market-23709764.html>.
2. Исследование рынка дронов. URL: <https://blog.dti.team/issledovanie-rynka-dronov/>
3. Види сільськогосподарських підприємств в Україні. URL: http://ucab.ua/ua/doing_agribusiness/umovi_vedennya_agrobiznesu/vid_i_silskogospodarskikh_pidpriemstv_v_ukraini.
4. Державна служба статистики України. Витрати і ресурси домогосподарств України у 2017 році. Статистичний збірник. К.,2018. 380 с.
5. Лучка О. 5 найбільших агрокомпаній України за розміром земельного банку. URL: https://lb.ua/economics/2016/01/13/325366_5_naybilshih_agrokompaniy_ukraini.html.
6. Redmond Ramin Shamshiri, Ibrahim A. Hameed, Siva K. Balasundram, Desa Ahmad, Cornelia Weltzien and Muhammad Yamin. Fundamental Research on Unmanned Aerial Vehicles to Support Precision Agriculture in Oil Palm Plantations. URL: <https://www.intechopen.com/books/agricultural-robots-fundamentals-and-applications/fundamental-research-on-unmanned-aerial-vehicles-to-support-precision-agriculture-in-oil-palm-plantations>.
7. Смирнов И.Г., Марченко Л.А., Личман Г.И., Мочкова Т.В., Спиридонов А.Ю. Беспилотные летательные аппараты для внесения пестицидов и удобрений в системе точного земледелия. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №3. С. 10-16.
8. Ковальов Ю.М., Бадеян Г.В., Плоский В.А. Інноваційна оптимізація: експериментальний метод удосконалення технологічних систем. *Прикл. геом. та інж. графіка*. К.: КНУБА, 2001. Вип.69. С.39-42.
9. Unmanned Aerial Vehicles: Breakthroughs in Research and Practice. Information Resources Management Association (USA)/ Chapter 8 Applications of Decision Support Systems in Socio-Technical Systems/

- Tetiana Shmelova, Yuliya Sikirda, - International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania. IRMA 2019. P.182-214.
10. Intelligent Expert Decision Support Systems: Methodologies, Applications and Challenges /Abdel-Badeeh M. Salem, Tetiana Shmelova - International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania., 2018. P.215-242 .
 11. Шмельова Т.Ф., Бондарев Д.І., Коробко В.В. Багатокритеріальне оцінювання ефективності виконання авіаційних хімічних робіт літальними апаратами. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми організації авіаційних перевезень і застосування авіації в галузях економіки» 24 листопада 2017 року.* Київ. НАУ, С.96-99.
 12. The economic impact of Unmanned Aircraft Systems integration in the United States. URL: [/https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/Uploaded/Images/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf](https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/Uploaded/Images/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf).
 13. Unmanned Aerial Vehicles in Civilian Logistics and Supply Chain Management. Chapter 5 Automated System of Controlling Unmanned Aerial Vehicles Group Flight /Tetiana Shmelova, Dmitriy Bondarev - International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania. November, 2019. P.167-204.
 14. Shmelova T., Bondarev D., Znakovska Y. Modeling of the Decision Making by UAV's Operator in Emergency Situations. *4th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC-2016).* 2016 IEEE 4d International Conference. Kyev, 18-20 October 2016.:Proceeding. P.31-34.
 15. Shmelova T, Kovalyov Yu., Dolgikh S., Burlaka O. Geometry-modeling based flight optimization for autonomous groups of UAVs. *Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD).* IEEE 5d International Conference. Kyiv, 2019.: Proceeding. P. 79-82.

ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛЬНОГО РЯДА И ХАРАКТЕРИСТИК БПЛА ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Ковалев Ю.Н., Шмелева Т.Ф., Свирко В.А., Богомаз К.А.

Обоснованы: актуальность темы, метаданные, задачи, выполнен обзор литературы. Сформулирована оптимизационная задача, определены ее особенности, последовательность и методы

решения. Рассматриваются текущие и перспективные направления использования БПЛА в агропромышленном секторе, их относительная доля и весовые коэффициенты в общем перечне работ. Рассматриваются технические средства существующих БПЛА и проблемы, возникающие при их эксплуатации. После анализа делается вывод о функциональности и технических требований для перспективных БПЛА. Приводятся данные о целевых потребителях БПЛА на отечественном рынке, проводится их классификация и определяются специфические потребности. Приводится перечень дистрибьюторов, импортирующих БПЛА сельскохозяйственного назначения для отечественного рынка, а также данные о существующих моделях БПЛА. Определяется, удовлетворяют ли БПЛА потребностям целевых отечественных покупателей, рассматриваются возможности оптимизации модельных рядов БПЛА для различных групп потребителей, обосновываются и приводятся соответствующие предложения, которые возведены в отдельную таблицу. Рассматривается оптимизация организации одиночной и групповой работы БПЛА, связанная с применением новых технологий связи, управления и искусственного интеллекта. Приводятся примеры оценки эффективности использования БПЛА по сравнению с пилотируемыми ЛА для проведения авиационных работ. В выводах оценивается теоретическая и практическая значимость полученных результатов и определяются направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, сельское хозяйство, оптимизация, оценка, модельный ряд.

MODEL SERIES AND UAV CHARACTERISTICS FOR PRECISION AGRICULTURE OPTIMIZATION

Kovalyov Yu., Shmelova T., Svirko V., Bogomaz K.

Substantiated: relevance of the topic, purpose of research, tasks, review of publications. The optimization problem is formulated, its features, sequence and methods of solution are determined. First, the current and future directions of UAV use in the agro-industrial sector, their relative share and weights in the general list of works are considered. The technical means of existing UAVs and problems that arise during their operation are considered. After the analysis, a conclusion is made about

the functionality and technical requirements for promising UAVs. Next, data on the target consumers of UAVs in the domestic market are provided, their classification is carried out and specific needs are determined. The list of distributor companies that import agricultural UAVs for the domestic market is given, as well as data on existing UAV models. It analyzes whether modern UAVs meet the needs of target domestic consumers, considers the possibility of optimizing the model range of UAVs for different groups of consumers, substantiates and provides appropriate proposals, which are summarized in a separate table. The optimization of the organization of single and group work of UAVs is considered. Optimization is directly related to the application of new communication, control and artificial intelligence technologies. Examples are given of evaluating the efficiency of UAV use in comparison with manned aircraft for agrochemical works, as well as the presentation, processing and analysis of results. The conclusions assess the theoretical and practical significance of the results and identify areas for further research.

Key words: unmanned aerial vehicle, agriculture, optimization, evaluation, model series.