

УДК 631.937.33

Мироненко В., д-р техн. наук, **Маранда С.**, наук. співроб. (Національний університет біоресурсів і природокористування України), **Карнаушенко Р.**, асистент (Національний технічний університет України «КПІ»)

Безпілотний літальний апарат «А-1» для біологічного захисту рослин з одночасним моніторингом стану поля

Наведено основні параметри безпілотного літального апарата (БЛА) для повітряного моніторингу стану поля та визначення місця розселення трихограми з метою біологічного захисту рослин.

Ключові слова: моніторинг, безпілотний літальний апарат, біологічний захист рослин, змінні норми висіву.

Мета дослідження – обґрунтувати доцільність використання БЛА у сільському господарстві та визначити параметри безпілотного літального апарата.

Вступ. Сучасний рівень життя вимагає виробництва якісної та недорогої сільськогосподарської продукції, що спонукає до використання в сільському господарстві

ві новітніх технологій та нових машин. Однією з перспективних технологій у виробництві сільськогосподарської продукції є органічне землеробство, зокрема біологічний захист рослин. Такі технології зменшують кількість використання хімічних засобів у догляді та захисті рослин, що обумовлено ретельним вивченням та аналізом кожної ділянки поля і рослин на ньому та оброблення посівів згідно з результатами аналізу.

Основна частина. Одним з варіантів вирішення цього питання є використання малогабаритних безпілотних літальних апаратів. Один з таких апаратів було розроблено у співпраці науковців НУБіП України та НТУУ «КПІ». Цей літак призначений для моніторингу стану полів та біологічного захисту рослин, що включає розселення ентомологічного препарату трихограми. Зробивши ретельний аналіз існуючих зразків БЛА, які використовуються у різних галузях господарювання та підпорядковані державним установам – таким, як МНС, МВС тощо, дійшли висновку, що розробляти та виготовляти літальні апарати потрібно з огляду на цілі використання кожного з них. Основними критеріями для розроблення БЛА мають бути: масо-габаритні показники, швидкість польоту, маневреність, система запуску та система керування. Загальноприйнято, що літальні апарати поділяються: за злітною масою, системою запуску, системою керування та ін. На сьогодні виробляють велику кількість літальних апаратів – від мініатюрних (масою в декілька грамів) до великих літаків (у декілька тонн) військового призначення. В сільському господарстві доцільно використовувати БЛА злітною масою до 5 кг. Це обумовлено можливістю використовувати такі літаки без допоміжних засобів, таких як ЗПС (злітно-посадкова смуга) або катапульти. Легкі безпілотні літальні апарати запускаються з руки з попередньою пробіжкою людини та підкидання літака вгору. Посадку літальні апарати здійснюють на поверхню поля незалежно від того, яка сільськогосподарська культура росте на ньому.

Безпілотний літальний апарат «А-1» для моніторингу та біологічного захисту рослин було розроблено та виготовлено за такими характеристиками: стартова маса – до 5 кг, маса корисного навантаження – до 1,5 кг, розмах крила – 2 м, максимальна робоча швидкість – 80 кг/год, потужність двигуна – 1 кВт, продуктивність – до 60 га/год, максимальне віддалення в ручному режимі – в межах візуального контролю, максимальне віддалення в автоматичному режимі – 5 км, мінімальна висота польоту – 1 м, спосіб старту – з руки, спосіб посадки – на опорну лижу на поверхні поля; тривалість польоту – 0,5 год. БЛА «А-1» (рис. 1) складається з фюзеляжу 1, крил 2, консольної балки 3, електродвигуна 4, хвостового вертикального та горизонтального оперення 5, лижі для посадки 6 та відеокамери 7. Крім того, у фюзеляжі літака розміщене технологічне обладнання для дозування та розселення трихограми (рис. 2), що складається з бункера 1, дефлектора висівної системи 2, повітряного каналу 3, формувача потоку технологічного матеріалу 4, дозатора 5, розпилювача 6, V – напрям повітряного потоку.

Якісне виконання роботи з розселення трихограми із змінними нормами внесення визначає більші вимоги до літального апарата та його технічних характеристик, основною з яких є робоча швидкість. Стійкість

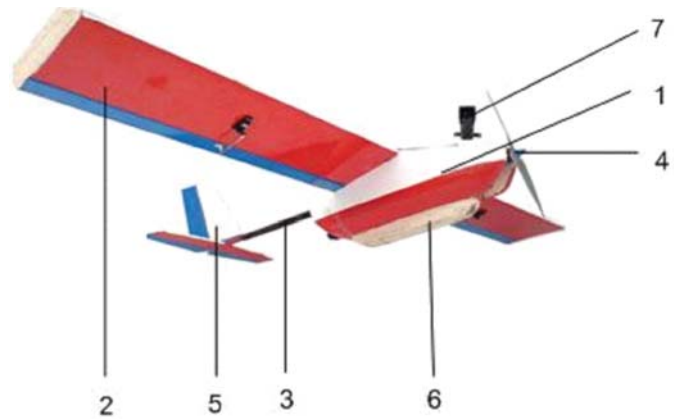


Рис. 1 – Безпілотний літальний апарат «А-1»

польоту та швидкість літака прямо пов'язані з конструкційними параметрами окремих його складових, які перераховані вище.

Основним вузлом літального апарата є крило, профіль якого формує підйомну силу та стабілізує рух літака. Оскільки БЛА проектується для польоту на малих швидкостях, у тому числі має невеличку швидкість звалювання, то доцільно використовувати профіль крила з високим значенням $C_{y_{max}}$. В процесі проектування було досліджено три профілі: P-IIIА-15, P-II-14, та Go-549.

Профіль ЦАГІ P-IIIА-15 має несприятливі характеристики звалювання, через що було вирішено відмовитися від його використання. Разом з тим профілі P-II-14 та Go-549 поступаються йому за $C_{y_{max}}$. Окрім того, з міркувань технологічності бажано використовувати плоско-випуклий профіль крила.

Виходячи з цих вимог, було спроектовано профіль БЛА, RWK0414, який переважає профілі P-II-14, та Go-549 за $C_{y_{max}}$ і не поступається за K_{max} профілю P-II-14. Характеристики профілю RWK0414 наведені на рис. 3.

Площу крила визначають з умови рівноваги ЛА в горизонтальному польоті за заданої швидкості звалювання:

$$G = Y = C_{y_{зв}} \frac{\rho V_{зв}^2}{2} S;$$

$$C_{y_{зв}} = 0,9 C_{y_{max}} = 1,3.$$

У формулу коефіцієнт 0,9 вводять для врахування балансувальних втрат БЛА.

$$V_{зв} = 35 \text{ км/год} = 9,7 \text{ м/с.}$$

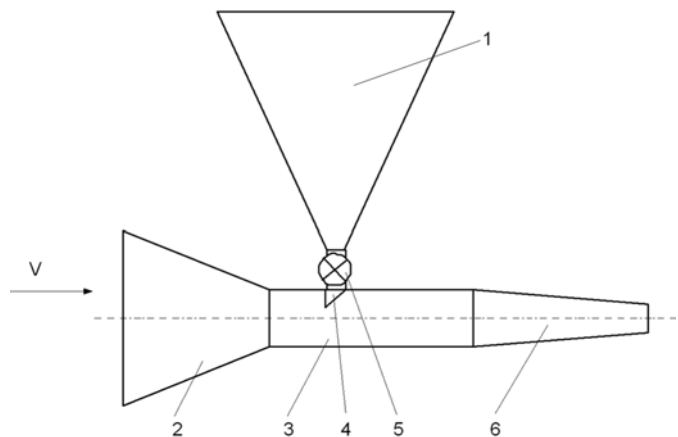


Рис. 2 – Схема технологічного обладнання для дозування та розселення трихограми

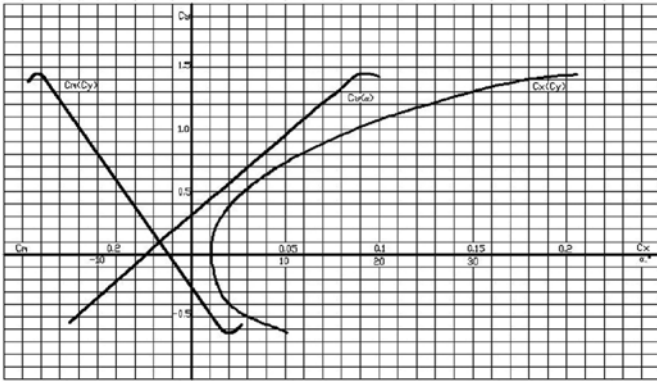


Рис. 3 – Аеродинамічні характеристики профілю RWK0414 на крилі з видовженням $\lambda=5$, $Re=0,81 \times 10^6$

$$\text{Потрібна площа крила: } S = \frac{2G}{C_{y_{36}} \rho V_{36}^2} \approx 0,5 \text{ м}^2.$$

Ефективність горизонтального оперення характеризується величиною $A_{ГО}$, що називається коефіцієнтом статичного моменту горизонтального оперення.

$$A_{ГО} = \frac{S_{ГО} \cdot L_{ГО}}{S \cdot b_a}$$

Для літальних апаратів, виконаних за нормальною схемою, рекомендується приймати:

$$L_{ГО} = (2,5-3)b_a; A_{ГО} = 0,45 - 0,55.$$

Приймаємо: $L_{ГО} = 0,6$ м, $S_{ГО} = 0,0675$ м². Звідси:

$$A_{ГО} = \frac{0,38 \cdot 1,7}{1,98 \cdot 0,6} = 0,5.$$

Видовження ГО, як правило, знаходиться в рамках 2-4.

Приймаємо розмах ГО: $l_{ГО} = 0,57$ м. Хорда ГО: $b_{ГО} = 0,128$ м.

Тоді видовження ГО: $\lambda_{ГО} = 4,8$. Профіль ГО – симетричний NACA 0012.

Відносна площа руля висоти: $S_{PB}/S_{ГО} = 0,45$. Площа руля висоти: $S_{PB} = 0,03$ м².

Ефективність вертикального оперення характеризується величиною $B_{ВО}$, що називається коефіцієнтом статичного моменту вертикального оперення:

$$B_{ВО} = \frac{S_{ВО} \cdot L_{ВО}}{S \cdot l}$$

Для літальних апаратів, виконаних за нормальною схемою, рекомендується приймати: $L_{ВО} = (2,5-3)b_a$. $B_{ВО} = 0,04 - 0,055$.

Приймаємо: $L_{ВО} = 0,6$ м, $S_{ВО} = 0,07$ м². Звідси: $B_{ВО} = (0,07 \cdot 0,6) / (0,5 \cdot 2) = 0,042$.

Приймаємо розмах ВО: $l_{ВО} = 0,35$ м. Коренева хорда ВО: $b_{0,ВО} = 0,25$ м.

Кінцева хорда ВО: $b_{к,ВО} = 0,16$ м. Профіль ВО – симетричний NACA 0012.

Відносна площа руля напрямку: $S_{PH}/S_{ГО} = 0,38$. Площа руля напрямку: $S_{PH} = 0,027$ м².

Габарити фюзеляжу вибираються згідно розмірами корисного навантаження та силової установки, плечей горизонтального і вертикального оперення та потрібного об'єму для пального:

- розміри вузла навіски силової установки: 50x50 мм,
- габарити цільового навантаження (системи авто-

матичного керування): 120x60x150 мм,

- плече горизонтального оперення: $L_{ГО} = 0,6$ м,

- плече вертикального оперення: $L_{ВО} = 0,6$ м.

Габарити фюзеляжу: довжина $l_{\phi} = 0,65$ м, висота $h_{\phi} = 0,12$ м; ширина $b_{\phi} = 0,15$ м.

У зв'язку з тим, що експлуатація цього БЛА передбачається з польових аеродромів та непідготовлених площадок та зважаючи на необхідність запуску з руки, найбільш обґрунтованим виглядає вибір лижного шасі. Основні проектні параметри шасі: база шасі $b = 0,5$ м, ширина колії $B = 0,07$ м, висота шасі $h = 0,05$ м.

Після розрахунку основних вузлів безпілотного літального апарата визначено зведені основні геометричні параметри та загальний вигляд літака:

Крило безпілотного літального апарата

Профіль крила – RWK0414; розмах крила – 2 м; площа крила – 0,5 м²; видовження крила – 8; хорда крила – 0,25 м; звуження крила – 1; кут стрілоподібності по лінії чвертей хорд – 0°; кут установлення крила – 2°; кут поперечного V – 3°; аеродинамічне крутіння крила – 0°;

Елерони і механізація крила

Розмах елерона – 0,94 м; відносна хорда елерона – 0,2 м; хорда елерона – 0,05 м; площа елерона – 0,047 м²; плече елеронів – 1 м.

Горизонтальне оперення

Розмах ГО – 0,55 м; хорда ГО – 0,125 м; площа ГО – 0,07 м²; кут установлення стабілізатора – -1°; плече ГО – 0,75 м; відносна товщина профілю – 12%.

Вертикальне оперення

Розмах ВО – 0,275 м; коренева хорда ВО – 0,275 м; кінцева хорда ВО – 0,16 м; площа ВО – 0,065 м²; кут стрілоподібності по передній крайці – 27°; плече ВО – 0,75 м.

Фюзеляж

Довжина – 0,7 м; площа міделя – 0,018 м²; видовження – 4,5.

Силова установка

Потужність двигуна на номінальному режимі – 1,1 к.с.; оберти на валу гвинта на номінальному режимі – 6500 об/хв; потужність двигуна на злітному режимі – 1,4 к.с.; оберти на валу гвинта на злітному режимі – 9000 об/хв.

Масові характеристики

Максимальна злітна маса – 5 кг; максимальне експлуатаційне перевантаження – 4,5; маса палива (аккумуляторної батареї) – 0,3 кг.

За даними розрахунків окремих частин було виготовлено літальний апарат, який задовольняє визначеним умовам щодо запланованої роботи з моніторингу та біологічного захисту рослин. Під час польових досліджень перевірено розрахункові величини роботи літака. Швидкість польоту на максимальних оборотах двигуна – мінімальна та робоча задовольняють поставлені вимоги: $V_{\max} = 95$ км/год, $V_{\min} = 35$ км/год, що відповідає швидкості звалювання, та $V_{\text{роб.}} = 60$ км/год, що забезпечує якісне виконання роботи за оптимальної продуктивності. Маневреність літака задовольняє вимоги, радіус розвороту за робочої швидкості становить 6-7 м, що дає можливість входити в суміжний прохід без непотрібних віражів.

Для виконання технологічної операції з розселення трихограми із змінними нормами внесення в бункер 1

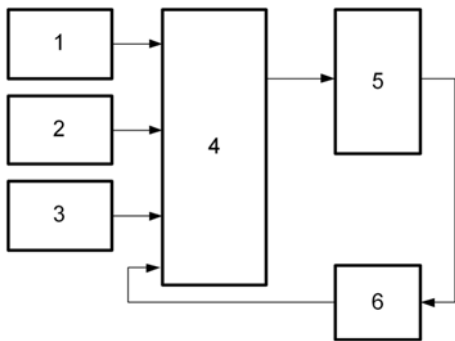


Рис. 4 – Блок-схема керування обладнанням розселення трихограми

ту. Під час пролітання літака над поверхнею поля відеокамера фіксує густину рослинного покриву, надсилаючи сигнал на блок 4 формування змінної норми внесення. Із збільшенням густоти рослин збільшується норма висіву, яка варіюється в межах 1-2 г/га. Пролітання літака здійснюється паралельними проходками, відстань між якими відповідає ширині захвату.

Систему керування та контролю обладнанням дозування та розселення трихограми зображено на рис. 4, де 1 – блок початкової норми внесення, 2 – датчик швидкості руху апарата, 3 – відеокамера, 4 – блок формування сигналу, 5 – дозатор, 6 – датчик контролю потоку матеріалу. Перед початком виконання технологічної операції розселення трихограми зі змінними нормами внесення вводиться в блок початкової норми внесення 1 (рис. 4) числовий показник дози розселення в межах 1-2 г. Під час виконання роботи на блок формування сигналу з датчика швидкості 2 та відеокамери 3 надходить сигнал, після обробки якого коригується норма внесення матеріалу.

Висновки.

1) Перевагами використання безпілотних літальних апаратів є велика продуктивність виконання польових

робіт. Технологічні операції можна проводити незалежно від погодних умов та вологості ґрунту.

2) Використання малогабаритних БЛА в сільському господарстві, обладнаних засобами моніторингу та малогабаритними висівними системами, підвищує якість та точність виконання технологічних операцій в технологіях біологічного захисту рослин.

Список літератури

1. Квонтик Х.Р. Справочник пилота сельскохозяйственной авиации / Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1991. – 255 с.
2. Применение авиации в сельском хозяйстве: Справочное пособие / А.И. Тимин, А.В. Степанович, А.П. Скоробогатов и др.; под ред. А.И. Заикина. – М.: Урожай, 1980. – 119 с.
3. Бондаренко Н.В. Биологическая защита растений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 278 с.
4. Барабаш А.В. Для авиарасселения трихограммы. – Защита растений. – 1990. – № 8. – С. 27.
5. Пасько А.К. Авиарасселение трихограммы. Защита растений. – 1982. – № 7. – с. 37-38.

Аннотация. Приведены основные параметры БЛА для воздушного мониторинга состояния поля и определения места расселения трихограммы с целью биологической защиты растений.

Summary. An analysis of the aircraft and the main parameters of UAVs for air monitoring and site specific dispersal of *Trichogramma* with variable application rate in the biological protection of agricultural crops, as well as adapting to the demands of safety and safety organization in the processing of agricultural crops.

Стаття надійшла до редакції 18 травня 2012 р.