

УДК. 632. 982. 4

М.Матійчик, канд. техн. наук

Національний науковий центр “Інститут механізації і електрифікації сільського господарства”

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ МІКРОЛІТАКІВ ЯК ЕНЕРГОЗАСОБІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ЗАХИСТУ РОСЛИН

Розглянуто передумови механізації процесів захисту рослин від шкідників і хвороб за допомогою нових енергозасобів - безпілотних мікролітаків. Показано залежність структури технологічних процесів захисту рослин від типу енергозасобів. Приведено критерії ефективності та доцільності вказаних процесів із застосуванням БМЛ.

Умовні позначення

- БМ** – безпілотні мікролітаки;
- ЛА** – літальні апарати;
- $m_{кн}$** – маса корисного навантаження;
- m_0** – стартова маса ЛА;
- УЛЛ** – ультралегкий літак;
- МДП** – мотодельтаплан;
- АПП** – апарат на повітряній подушці;
- k** – коефіцієнт шкодочинності;
- $K_{пер}$** – коефіцієнт природніх або штучних перешкод;
- K_p** – коефіцієнт кривизни;
- Q_n** – питома витрата палива;
- E** – ефективність процесу;

- СДУ** – система дистанційного управління;
РЕО – радіоелектронне обладнання;
 $W_{зр}$ – абсолютна вологість ґрунту, %;
 Z_r – необхідна годинна продуктивність, га/год;
 $H_{вн}$ – норма внесення препарату, кг/га;
 S_n – площа поля, га;
 M_e – горизонтальна видимість, км;
 K_p – коефіцієнт нерівномірності рельєфу поля;
 $K_{злс}$ – коефіцієнт перекриття периметру поля захисними лісосмугами;
 V_v – швидкість вітру, м/с;
 α_e – кут відхилення напрямку вітру від напрямку галсу, град.;
 t_n – температура повітря, °С;
 P_a – відносний атмосферний тиск.
Сі (Ji) – функція, що показує приведені затрати при значенні Ji кожного i-го критерія; i- число критеріїв;
J [$H_{вн} \cdot (S_n)$] – залежність нерівномірності на кожний J-й ділянці поля або ступеня недосяжності потрібної нерівномірності при нормі внесення $H_{вн}$ на обробці поля площею S_n ; а.д. - агротехнічний допуск.

З повітря у сучасному сільськогосподарському виробництві проводяться технологічні операції захисту, підживлення та дистанційне визначення параметрів генезису рослин.

Першою за масовістю посеред них виділяється операція захисту рослин. Оскільки повітряні енергоносії неконтактні з ґрунтом і мають значну продуктивність при виконанні великих об'ємів робіт (декілька сотень або тисяч га у залежності від класу ЛА), невисокі витрати, вони широко застосовуються у багатьох країнах на цій операції як основні.

Традиційно повітряні енергоносії виконуються у вигляді крилатих або гвинтокрилих пілотованих ЛА багатоцільового застосування, які обладнуються комплексом пристроїв дозування та внесення препаратів. На сьогодні сформувався ряд класів вказаних ЛА, класифікаційним параметром для яких є $m_{кн}$ - маса корисного навантаження, яка коливається у межах від 100 до 1500кг.

Зокрема, можна виділити клас крилатих ЛА типу АН-2 та АН-3 (біля 1500кг), ЛА типу "Цесна-185" (700кг), ЛА типу "Пайпер" (200кг) тощо. Найменші значення $m_{кн}$ характеризують більш пізні форм ЛА, так звані "ультралайти" (УЛЛ та МДП) – надлегкі ЛА різних конструктивних схем з $m_{кн}$ близько 100кг.

Загальновідомими недоліками авіазасобів всіх класів є високі значення нерівномірності внесення препарату, обмеження через швидкість вітру (внаслідок значного знесення порошкових та рідких препаратів), обмеження через кривизну рельєфу та інше, що, зрештою, привело до їх заборони, наприклад, у Канаді та інших країнах.

Ліквідувати вказані недоліки можна, зокрема, значним зменшенням робочої висоти з 5 до 0,5...1м, що, в свою чергу технічно здійснено за наступними напрямками:

- застосування пілотованих "тихохідних" форм ЛА;
- застосуванням безпілотних форм ЛА.

У першому напрямку реалізація проходить з застосуванням вертольотів найменших класів, УЛЛ та МДП. Вони володіють необхідними властивостями, і пілот, зменшуючи робочу швидкість, теоретично має змогу дотримуватись належної висоти. Проте складна картина руху повітряних мас під несучим гвинтом вертольота, а також силовий вплив повітря на рослини та ґрунт, складна картина руху повітряних мас в фарватері УЛЛ та МДП практично приводять до погіршення якості обробок. Ряд дослідників вказують, що те ж відбувається, коли в якості енергоносія використовують АПП з статичним утворенням повітряної подушки.

Більш перспективним є напрямок усунення людини з борту ЛА, оскільки її незадовільний психофізіологічний стан, а саме робота у постійному стресовому стані і є ті-

єю першопричиною, яка не дозволяє суттєво зменшити робочу висоту і за якістю проведення процесів наблизитися до наземних засобів. В цьому контексті проблема переходу на безпілотні форми авіазасобів набуває сьогодні особливої актуальності.

Слід зауважити, що безпілотні ЛА мають свою давню історію, яка сягає 20-х років ХХ-го століття, коли конструктори англійської фірми "De Nevilland" переобладнували легкі літаки-розвідники у безпілотні. З того часу напрямок зазнав значного розвитку і зайняв чільне місце у військовій справі, моніторингу земної поверхні, науці, спорті тощо.

З 70-х років ХХ-го століття почались інтенсивні наукові дослідження з метою пошуку їх ролі і місця у сільськогосподарсь-кому виробництві, зокрема, на захисті рослин. При цьому використовувались спеціально розроблені ЛА, характеристики яких ґрунтувались на характеристиках безпілотних ЛА, призначених для іншої мети. Технічні дані деяких експериментальних типів БМЛ та їх можливих прототипів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики деяких типів БМЛ та їх можливих прототипів

| Параметри БМЛ та їх можливих прототипів | "Скайайз" "R-4-E40 (США) | "Піонер" (Ізраїль) | "Джміль" (Росія) | "Сойка" III-IV (Чехія) | "Хохонхейм" модель Б (ФРН) | "Гарпун" RBM-84A C1 (США) | "Пінгвін" МК-1 (Норвегія) | М-2 Україна | М-3 Україна | М-4 Україна |
|---|--------------------------|--------------------|------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1. Довжина, м | 3,7 | 4,15 | 2,78 | 3,6 | 5,2 | 3,84 | 3,42 | 1,7 | 3,06 | 2,1 |
| 2. Розмах крила, м | 5,33 | 5,12 | 3,25 | 4,2 | 7 | 1,9 | 1,38 | 3,42 | 4,45 | 3,17 |
| 3. Швидкість, км/год | 250 | 230 | 180 | 125 | 90 | 460 | 800 | 95 | 100 | 100 |
| 4. Маса спорядженого МРЛ, кг | 236 | 195 | 130 | 140 | 80 | 550 | 330 | 8,5 | 100 | 50 |
| 5. Маса корисного навантаження, кг | 80 | 70 | 75 | 50 | 12 | 220 | 120 | 2,0 | 50 | 27 |
| 6. Потужність двигуна, кВт | 29 | 20 | 24,1 | 31 | 10 | 100 | - | 2,0 | 12 | 12 |
| 7. Робоча висота польоту, м | 4500 | 5600 | 100-3000 | 3000 | 5...10 | min 15 | min 15 | min 1...2 | min 1...2 | min 1...2 |
| 8. Спосіб старту * | К | К | К | К | ЗК | К | К | ЗР | К | ЗК |
| 9. Спосіб управління (наведення)** | ДУ, ВС, КР | ДУ, ВС, РА | ДУ, ВС, РА | ДУ, ВС, РА | ДУ | І, РА | І, РА | ДУ | ДУ, ВС | ДУ, ВС |
| 10. Галузь застосування *** | АР | АР | АР, П | ТЗ, АР, П | СГ | ЗБ | ЗБ | СГ | СГ | СГ |
| 11. Тривалість польоту, год; | 6 | 5 | 2 | 4 | 1 | 0,125 | 0,1 | 1 | 1 | 1 |
| 12. Стадія запровадження **** | С | С | С | Е | Е | С | С | Е | Е | Е |

*К - катапульта; ЗР - з руки; ЗК - з коліс .

** ДУ - директорне управління; ВС – відеосистема; РА – радіолокаційна активна; КР - кореляційна; І - інерціальна.

*** АР - авіарозвідка; П - патрулювання; ТЗ - передача телезображення; ЗБ - зброя; СГ - сільське господарство.

**** С-серійний; - Е - експериментальний.

БМЛ як клас машин можуть функціонувати в межах вантажопідйомності від 1...2кг до 90...100кг, зважаючи на те, що піднімати їх $m_{кн}$ вище недоцільно тому, що

найближчим класом ЛА з близьким $m_{кн}$ є типовий “ультралайт”. Він, як правило, є багатоцільовим і може забезпечувати сільськогосподарському виробникові цілу гаму послуг. Це є основна причина швидкого поширення УЛЛ та МДП у сільському господарстві. Виходячи з цього, БМЛ в концептуальному плані є не що інше, як “ультралайт,” на борту якого відсутня людина та інфраструктура, що її обслуговує. У середньому виграш за масою може складати до 140кг.

Зважаючи на складні залежності між m_0 ЛА, його ваговими та конструктивними параметрами та $m_{кн}$, можна прогнозувати для сільськогосподарських БМЛ їх m_0 у межах 6...120кг, у залежності від виконуваного виду робіт та типів препаратів.

Відомо, що розвиток механізованого захисту рослин з повітря йде по шляху зниження норм внесення препаратів (біля 5 кг/га), переходу до біологічних засобів боротьби, використання сучасної високопродуктивної техніки, спеціальних прийомів нанесення препаратів та речовин, що збільшують приклеюваність частинок захисної речовини до рослин. Беручи до уваги енергетичну ефективність процесу в цілому, можна зауважити, що приведені енерговитрати на процес складаються з енерговитрат, пов'язаних з роботою апаратури внесення та енергозасобу, який переміщає її полем або над ним.

Аналізуючи приведені витрати енергозасобів, насамперед, необхідно порівняти їх питому витрату палива Q_p (рис.1).

Розрахункові значення цього параметру приведені для норми внесення 5 кг/га. Аналіз показує, що Q_p для різних типів машин коливається у межах від 0,12 кг/га до 1,3 кг/га, тобто зростає майже у 10 разів. Найменшого значення Q_p набуває для БМЛ, особливо у І-й зоні - зоні технологій УМО.

Зміна структури площі полів, тобто збільшення частки полів невеликих за площею, що є характерним для фермерських господарств, негативно впливатиме на Q_p “великих машин” (рис.2), особливо авіазасобів з продуктивністю 150...200 га/год і сприятиме впровадженню авіазасобів малих форм.

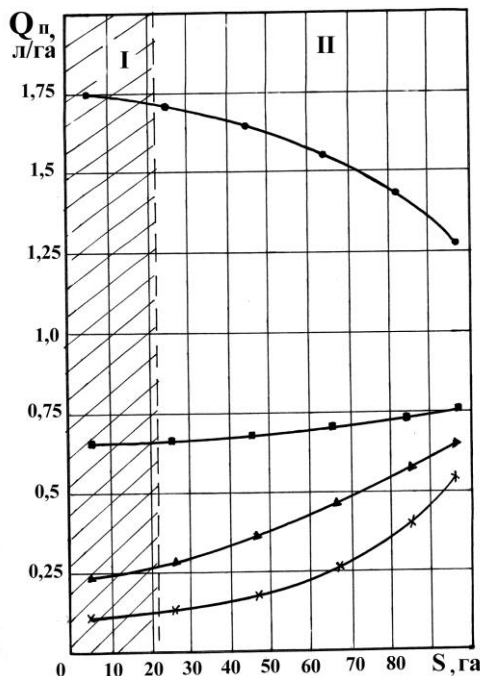


Рис.1. Залежність питомої витрати палива Q_p від площі обробки S для різних типів носіїв (приведено до витрати препарату 5кг/га):

- для АН-2; —■—■— трактор кл.1,4;
- ▲—▲— МДП; —×—×— БМЛ

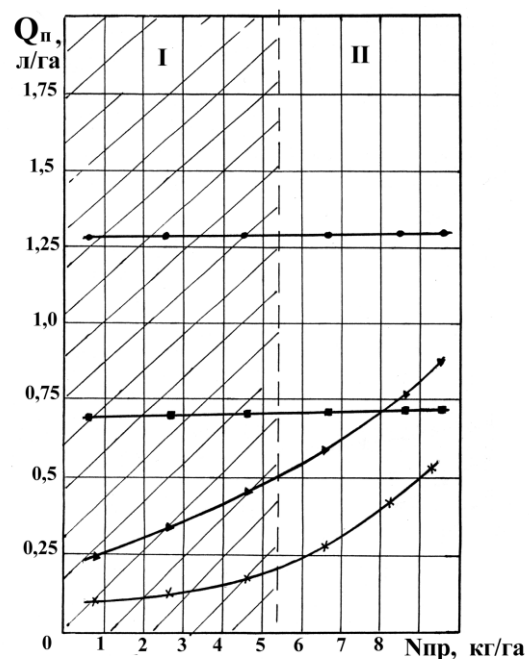


Рис.2. Залежність питомої витрати палива Q_p від норми витрати препарату $N_{пр}$ для різних типів носіїв (приведено до площі 100га)

- для літака АН-2; —■—■— для колісного трактора кл.1,4;
- ▲—▲— для мотодельтаплана (МДП); —×—×— для БМЛ

Збільшення показника Q_n для АН-2 (АН-3) характеризується великими втратами палива при збільшенні частоти міжгалсових* розворотів та збільшенні холостих перельотів від поля до поля. Натомість у таких умовах ефективність БМЛ зростає внаслідок зменшення тривалості розворотів, відсутності холостих перельотів та невеликим значенням m_0 . Для площ близько 20 га Q_n для БМЛ є мінімальним і складає біля 0,1...0,12 кг/га.

Оцінку ефективності застосування БМЛ на захисті рослин E необхідно проводити з врахуванням не тільки Q_n , а й факторів, які впливають на прийняття практичного рішення із застосуванням саме цього засобу. У загальному вигляді цю залежність можна показати наступним чином:

$$E = f(W_{гр}; Z_r; H_{вн}; M_b; K_{пер}; K_{злс}; K_p; S_{п}; V_b; \alpha_b; t_{п}; P_a), \quad (1)$$

Аналізуючи залежність (1), слід зауважити, що, оскільки всі авіазасоби є “неконтактними” з ґрунтом, то вони в цьому мають незаперечну перевагу перед наземними засобами. Відомо, що $W_{гр}$ у Херсонській області за сезон коливається у межах 5...21%. Збільшення $W_{гр}$ збільшуватиме ймовірність застосування БМЛ на захисті рослин.

Величина E для БМЛ залежатиме також від годинної необхідної продуктивності Z_r , з розрахунку, що максимальна очікувана продуктивність для них складатиме 50...60 га/год. Збільшення необхідного значення Z_r будуть значно знижувати E одиничного БМЛ.

Норма внесення препарату $H_{вн}$ надаватиме перевагу БМЛ, коли буде знаходитись у межах 0,1...10кг/га, зважаючи на незначні масогабаритні показники як його самого, так і незначну $m_{кн}$.

Вибір БМЛ як основного енергозасобу залежатиме і від площі оброблюваного поля $S_{п}$. Розрахунки показують, що величина E для БМЛ збільшуватиметься із зменшенням розмірів оброблюваних площ.

Коефіцієнт природних або штучних перешкод $K_{пер}$ показує відношення площі поля, закритої штучними чи іншими перешкодами до загальної площі поля. Проведення авіаробіт на малих висотах ускладнюється із збільшенням $K_{пер}$, що для прийняття рішення щодо застосування БМЛ буде мати негативний вплив.

Кривизна рельєфу поля, оцінена коефіцієнтом кривизни K_p (аналогічно до параметру R_z при оцінці шорсткості поверхні деталей), має важливе значення для величини E , і горбистий рельєф з значними перепадами висот може взагалі не дозволити проводити роботи із застосуванням БМЛ.

Коефіцієнт перекриття периметру поля захисними лісосмугами $K_{злс}$ збільшуватиме ймовірність проведення захисних робіт за допомогою БМЛ. Це пояснюється особливостями їх динаміки, які дозволяють їм “заходити” у важкодоступні для обробки місця на краях поля.

Велика група факторів встановлює залежність E від погодних умов у період проведення захисту рослин. Так M_b - горизонтальна видимість, яка зменшується, наприклад, з настанням туману, обмежуватиме роботу БМЛ. Однак переведення систем управління БМЛ в автоматичний режим допоможе йому працювати практично в умовах нульової видимості.

Відносний атмосферний тиск (відношення виміряного поточного тиску до тиску стандартної атмосфери на висоті 0 м при $t = 15^\circ \text{C}$) разом з поточною температурою повітря t_p вплинуть на густину повітря ρ_p . Оскільки густина повітря є одним з факторів, від якого залежить підйомна сила крила БМЛ, то необхідно буде вносити поправки, наприклад в конструкцію його крила.

Величини V_b та α_b є прерогативою арготехнічних вимог до технологічного проце-

*Паралельний галс-паралельний прохід авіазасобу над полем між двома розворотами.

су і встановлені на рівні $V_v = 5 \text{ м/с}$ та $\alpha_v = 45^\circ \dots 135^\circ$ для підвітреної сторони. Однак введення їх функціоналами щодо E диктується насамперед тим, що вони впливатимуть на точність дотримання напрямку та коливання швидкості руху БМЛ над полем. Зменшення цих величин збільшуватиме значення E для БМЛ.

При формуванні цільової функції застосування БМЛ на захисті рослин повинна враховуватись вся сукупність суперечливих чинників. Тому доцільніше прийняти узагальнений нефізичний критерій, який пов'язаний з прямим призначенням нового енергозасобу БМЛ – зменшити приведені витрати на проведення технологічної операції захисту рослин з обмеженням на нерівномірність внесення препарату. Звідси задача зводиться до пошуку мінімуму цільової функції:

$$J = \min \sum_{i=1}^i C_i(J_i), \quad (2)$$

з обмеженням:

$$\begin{aligned} J &= \Delta S \\ \sum J [N_{вн} \cdot (S_n)] &= a.д., \\ J &= I, \end{aligned}$$

Проведення захисних заходів на рослинах має на меті зниження рівня захворюваності або зниження популяції шкідників. Кінцевий результат, наприклад, впливу на шкідників можна виразити як зниження коефіцієнту їх шкодочинності:

$$k = \frac{(a-b)}{a \cdot 100} (\%), \quad (3)$$

де a - вага непошкоджених рослин;

b - вага пошкоджених рослин.

Як ручний, так і механізований способи обробки сільськогосподарських рослин у загальному вигляді являють собою певну послідовність дій, які можна об'єднати у наступні етапи:

- I – діагностичний;
- II – підготовчий;
- III – основний;
- IV – контрольний.

Процес, як правило, послідовний, тобто етапи виконуються один за одним. Проте з метою інтенсифікації технологічних процесів, перспективним є напрямок проведення суміщених операцій, що означає частковий чи повний перехід до паралельної структури. Маючи на увазі специфічні властивості БМЛ, нескладно здійснити вказаний перехід та отримати новий, більш ефективний технологічний процес (рис.3).

На першому етапі встановлюється поява шкідника чи хвороби та рівня зараження. Незначний рівень зараження може й не приводити до наступних дій, але небезпека поширення захворювання (шкідника) спонукає до реалізації другого етапу – підготовчого. На ньому приймається рішення на проведення обробки з визначенням типу препарату, термінів та інтенсивності обробки. Поряд з цим у залежності від погодних і ландшафтних умов та можливостей господарства визначаються тип носія та апаратури внесення. Після цього встановлюється норма й періодичність внесення та визначається траєкторія руху носія (ширина захвату, схеми розворотів тощо).

На третьому, основному етапі відбувається власне виконання проходів над рослинами. Четвертий, контрольний етап полягає у визначенні впливу обробок на хворобу (шкідника). Незадовільний стан рослин, слабкий вплив на зараження чи шкідника приводять до додаткових обробок, що може розглядатися як повторення цілісного технологічного процесу.

Як видно зі схеми, весь процес є поєднанням методів та технічних засобів різних наук – агрономічної, біологічної, хімічної та технічної. Між ними існує взаємозв'язок, й чим тісніше він налагоджений, тим швидше й ефективніше відбувається процес.

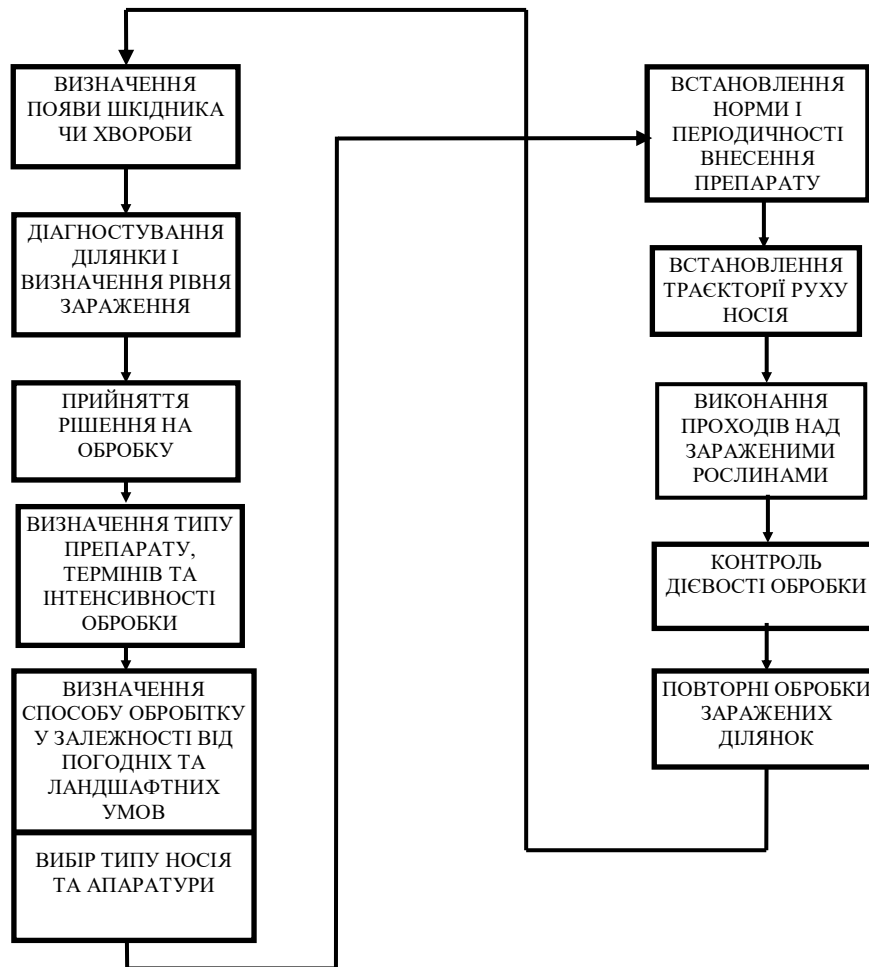


Рис.3. Структурна схема технологічного процесу механізованого захисту рослин

Аналізуючи кількість та послідовність складових процесу перш за все можна звернути увагу на те, що діагностичний та основний етапи при застосуванні БМЛ як носія можна об'єднати. Це дасть можливість ще при виконанні проходів над полем визначати ступінь зараження рослин шкідником (хворобою) методом дистанційного моніторингу, не здійснюючи проміжних посадок БМЛ, при умові, що БМЛ обладнано комплексом діагностичної апаратури та апаратури внесення. Таким чином, для прийняття рішення на обробку необхідно отримати з борту БМЛ дані щодо ступеня зараження.

Надалі етапи можуть виконуватися без посадок (окрім планових заправок паливом та препаратами), що значно скоротить час протікання одного циклу технологічного процесу.

По суті, це перехід від послідовної структури процесу до паралельної або комбінованої. Це повинно значно знизити приведені затрати на проведення операції захисту рослин. Слід зауважити, що подібний перехід можливий у випадку застосування більшості енергозасобів на базі літальних апаратів, проте ефективність їх буде значно нижча. Наземні засоби внаслідок своїх особливостей не можуть змінити структури процесу.

Узагальнений функціональний склад робочого обладнання БМЛ для захисту рослин у цьому випадку буде наступним (крім СДУ, РЕО та обладнання безпеки польотів):

- апаратні засоби для дистанційного моніторингу з повітря;
- апаратні засоби внесення рідких препаратів;
- апаратні засоби розселення ентомографів - природних ворогів шкідників.

Дистанційний моніторинг проводиться для визначення вологозабезпечення посівів, рівня розвитку рослин та забезпечення їх мінеральними речовинами,

визначення рівня пошкодження хворобами та шкідниками. Для цього застосовується обладнання, яке працює у діапазоні НВЧ випромінення з довжиною хвилі від 1мкм до 1мм. При цьому звертається увага на те, що на ультрамалих висотах (0,5...5 м) моніторинг поверхні обумовлюється наступним:

- оптичними властивостями покриття;
- морфологією пологую;
- відбивними властивостями ґрунту;
- спрямуванням освітлення та візування;
- оптичними властивостями атмосфери.

Сьогоднішній технічний рівень комплектів обладнання для проведення спостережень з повітря від провідних світових виробників (Texas instruments, Bendix та інших) дозволяє отримувати зображення, у тому числі і в термічному діапазоні, по 2...24 каналах. Малогабаритні характеристики комплекту знаходяться на рівні 1...2 кг та об'єму 0,5...1,5 дм³.

Апаратні засоби для внесення захисних препаратів в основному повторюють схеми й конструкції, поширені у "великій" техніці, тільки з тією різницею, що їх розміри максимально зменшуються, що в умовах жорсткого дотримання агротехнічних вимог до процесу вимагає адаптації відомих технічних рішень або пошуку нових шляхів, які більш повно відповідають новій задачі. Одним з таких шляхів є застосування інтегральної (об'єднаних з конструкцією БМЛ) апаратури внесення та робочих органів. Це дало б можливість різко зменшити малогабаритні показники енергозасобу і особливо його m_0 .

Вагомим резервом на внесенні рідких препаратів з БМЛ слід вважати розробку і дослідження пристроїв для отримання холодних аерозолів із застосуванням енергії набігаючого потоку повітря. Застосування холодних аерозолів у наземній техніці показало їх високу ефективність, яка добре поєднується з високою продуктивністю обробки (біля 40 га/год).

Висновки

- БМЛ як клас машин для захисту сільськогосподарських культур від хвороб і шкідників ефективні на невеликих за площею (близько 20 га) полях та нормах внесення препарату близько 5 кг/га;
- питома витрата палива БМЛ при проведенні захисту рослин в режимах УМО складає біля 0,12 кг/га, що значно менше від аналогічного параметру для інших класів енергозасобів;
- масу корисного навантаження БМЛ доцільно добирати з діапазону 1...100 кг, причому більше значення обмежується масою корисного навантаження сучасних УЛЛ та МДП;
- застосування БМЛ на захисті рослин дозволяє проводити технологічні процеси з паралельними операціями, що значно збільшить коефіцієнт використання робочого та машинного часу;
- у склад технологічного обладнання БМЛ доцільно вводити обладнання для моніторингу поверхні поля з метою прискорення прийняття рішення на обробку з позиції вибору типу препарату, норм та часових рамок його внесення.

The grounds of mechanization of plant protection processes using new power means (the SRA) are considered. The authors have shown the dependence of the structure of plant protection technological processes on the type of power means. The effectiveness and expedience criterion of the SRA usage are also given.

Література

1. Матійчик М. П., Матійчик І. П. Вплив динаміки руху авіазасобів на ефективність технологічних процесів захисту рослин. –Тернопіль.Вісник ТДТУ, 2001.-№4.-С.37-46.
2. Матійчик М. П., Боголюбов В. М. Ретроспективи та сучасні проблеми застосування малогабаритних радіокерованих літаків з господарською метою.-Київ: Наукові записки НаУКМа, 1999.-Т.9.-С.371-377.
3. Барановський О. С. Дослідження експериментального пневматичного розпилювача рідин.-В кн.: Механізація і електрифікація сільського господарства.-Київ, 1987. вип. 66-С.31-35.

4. Войнов О. А. и др. Использование аэровизуальных наблюдений для оценки закономерностей пространственно-временного распределения проективного покрытия озимой пшеницы и кукурузы.– Труды ГосНИЦИПР, 1989. вып. 35.

Одержано 25.04.2002 р.