

УДК. 632.982.4

**М.Матійчик, канд. техн. наук**

*Національний науковий центр "Інститут механізації і електрифікації сільського господарства"*

## **ВОДІННЯ БЕЗПЛОТНИХ МІКРОЛІТАКІВ В УМОВАХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН**

*Розглянуто параметри технологічних процесів у сільському господарстві, які ймовірно можуть бути механізовані за допомогою безпілотних мікролітаків. Встановлено структуру та склад системи дистанційного управління мікролітаками для їх водіння над полем методом відеоприцілювання. Показано схеми пілотування мікролітаків одним та двома пілотами на захисті рослин.*

### **Умовні позначення**

БМЛ- безпілотний мікролітак;  
СДУ- системи дистанційного управління;  
РУД - ручка управління двигуном;  
С<sub>1,..,n</sub> - сервомеханізм;  
ЛА -літальний апарат;  
ВС - відеосигнал;  
Н<sub>р</sub>- робоча висота;  
V<sub>р</sub>-робоча швидкість;  
ГСН - головка самонаведення;  
m<sub>0</sub> -стартова маса ЛА.

Практичне застосування БМЛ у технологічних процесах захисту сільськогосподарських рослин від шкідників, хвороб і бур'янів має декілька проблемних сторін. Серед них можна назвати наукове обґрунтування процесів, їх технічну здійсненість, майбутню ефективність тощо. Проте, навіть отримавши відповіді на всі питання авіаційної техніки, технічних засобів внесення препаратів ) технології у цілому, ми завжди зупинимемося на принципах, способах і методах управління польотом БМЛ, як одному з ключових питань даного напрямку [2].

Не секрет, що дистанційне управління рухомими об'єктами сьогодні є достатньо розвинутою галуззю знань і включає в себе наукові, технічні і технологічні здобутки з автоматизації. інформатики, точної механіки, гідравліки та інших напрямків. Людство в силі забезпечити наведення і керування рухомими наземними, надводними, підводними, повітряними та космічними апаратами з необхідною швидкістю, точністю і далькістю [3].

Для вирішення конкретних завдань у систему керування ЛА можуть бути включені наземні, надводні, повітряні та космічні пункти стеження та проведення, які, загалом, є потужними інформаційними одиницями, що можуть проводити контроль переміщення і корекцію траєкторії руху за допомогою радіо-, оптичних чи інших засобів.

Шляхів для вирішення проблеми управління рухом БМЛ над полем може бути декілька, наприклад, повна автоматизація процесу із застосуванням внутрішніх бортових засобів БМЛ, контроль положення БМЛ зовнішніми засобами, переведення управління у радіокомандний режим та інші. При рівності отриманого результату - надійний якісний контроль та управління БМЛ над полем, ці шляхи суттєво відрізнятимуться складністю та вартісними характеристиками обладнання, яке забезпечує процес, а відповідно і часом окупності системи у цілому.

Беззаперечно, що технічні рішення та принципи побудови СДУ БМЛ в технологічних процесах захисту рослин можуть бути використані з інших аналогічних процесів, які на сьогодні достатньо відпрацьовані і показують свою високу ефективність. Для того, щоб зупинитися на найближчих аналогах, необхідно визначити параметри технологічних процесів, що впливають на склад СДУ БМЛ.

Аналіз сільськогосподарських технологічних процесів, де ймовірно можуть бу-

ти застосовані БМЛ показує, що траєкторія їх руху здебільшого являє собою політ над полем паралельними галсами (проходами) на наданій висоті, з метою внесення з борту певних препаратів або дистанційного зондування (моніторингу) стану рослин (таблиця 1).

Таблиця 1.  
Деякі параметри типових технологічних процесів із застосуванням БМЛ

Процес Параметри	Знесення рідких хімпрепаратів	Внесення рідких біопрепаратів	Внесення регуляторів росту	Внесення трихограми	Моніторинг полів
робоча швидкість, м/с	~19...40	~19...40	~19...40	~19...40	>40
робоча висота, м	<5	<5	<5	<5	>100
нерівномірність внесення, %	<15	<15	<15	<15	—
час на виправлення помилки пілотування, с	~0,3	~0,3	~0,3	~0,3	2...3
віддаленість від пілота, км	0,8...2	0,8...2	0,8...2	0,8...2	2...5
тривалість польоту, год	0,5...1	0,5...1	0,5...1	0,2...0,5	1...2
тип траєкторії	парал. проходи	парал. проходи	парал. проходи	парал. проходи	довільна

Робоча швидкість БМЛ коливається у межах 19...40 м/с і лише на спостереженні (моніторингу) може бути вищою, оскільки різко зростає висота польоту та процеси зондування мало залежать від швидкості. На цих висотах час у 2...3 с на виправлення помилок пілотування або для спрацювання системи спасіння БМЛ теоретично достатній. На операціях внесення препаратів, які вважаються основними, вказаний розрахунковий час складає біля 0,3 с, що значно впливатиме на вартість тих СДУ, які будуються за принципами визначення положення БМЛ з наступними обрахунками різниці між вимірним положенням та розрахунковим. Обрахунки виконуються за допомогою ЕОМ, від якої вимагається велика швидкодія. Відомо, що у подібних СДУ, незалежно від типів датчиків чи принципу вимірювання, системна похибка наростає пропорційно квадратові швидкості. Забезпечення її зменшення приводить до значною зростання вартості СДУ, включення в управління БМЛ зовнішніх джерел, що знову приводить до зростання вартості управління в цілому. Покажемо це на прикладі. Вартість бортової частини СДУ крилатої ракети "Гарпун" (США) становить біля 800 тис. амер. дол. при загальній вартості ракети біля 1 млн. амер. дол. Ракета рухається зі швидкістю біля 250 м/с з часом польоту до цілі 20...30 хв і має дальність пострілу 110-130 км. Мінімальна висота її польоту складає 15...29 м. При цьому участь у її наведенні на ціль беруть супутникові, надводні та повітряні засоби. На початковій та маршовій ділянках польоту система управління інерціальна (за допомогою гіроскопів, акселерометрів та бортової ЕОМ). На ділянці виходу на ціль застосовують радіолокаційне наведення за участю у наведенні на ціль (уточненні даних про ціль) супутникових, надводних та повітряних засобів [3]. Подібним способом керуються ракети "Томагавк" та інші. Звичайно, достатньо навіть поверхового погляду, щоб зробити висновок про нераціональність даного шляху з позиції використання СДУ вказаного типу для сільськогосподарської технологічної машини, якою має бути КМЛ.

Інший шлях пролягає у площині процесів управління великими радіокерованими спортивними авіамоделями міжнародних класів F-3A та F-3A-X. Тут слід звернути увагу на невеликі віддаленості від пілота (в межах декількох тисяч метрів) та тип задач управління (робота в межах 0.5...1 год часу та незначних об'ємів простору). З огляду на це, можна прийти до висновку про значну подібність управління БМЛ у цих процесах, управлінню вказаними великими радіокерованими спортивними авіамоделями.

Ці класи професійних моделей є технічно досконалими рухомими об'єктами, на яких встановлені серійні СДУ з унікальними характеристиками. Для прикладу можна привести дані з сучасної комп'ютеризованої системи радіокерування моделями фірми "Graupner" моделі MC-16/20 [6]. Вона працює на частотах 35 або 40МГц у цифровому режимі й дозволяє при вихідній потужності до 1000мВт отримувати далекість дії до 5000м у межах прямої бачимості. Передача ведеться на 16 пропорційних каналах, частина з яких може бути трансформована у дискретні; тоді число каналів-команд зростає до 20. Масагабаритні показники її бортової частини складають 5...7% від стартової маси авіамоделі класу F-3A-X, що в абсолютному виразі складає біля 20кг. Система оснащена портативним пультом та вмонтованим комп'ютером, який дозволяє:

- складати й виконувати алгоритми окремих елементів польоту БМЛ;
- утримувати у пам'яті дані про особливості СДУ 20-ти БМЛ;
- проводити змішування сигналів керування;
- працювати з різноманітними периферійними автоматичними пристроями (гіростабілізаторами, автопілотами, висотомірами тощо);
- працювати у режимах, що забезпечують управління БМЛ різних аеродинамічних схем: літаюче крило, з V-подібним хвостовим оперенням, гелікоптером.

Заявлений ресурс СДУ MC-16/20 за найскладнішими електромеханічними вузлами складає 200...300 робочих годин, а за електронними - 1500...2000.

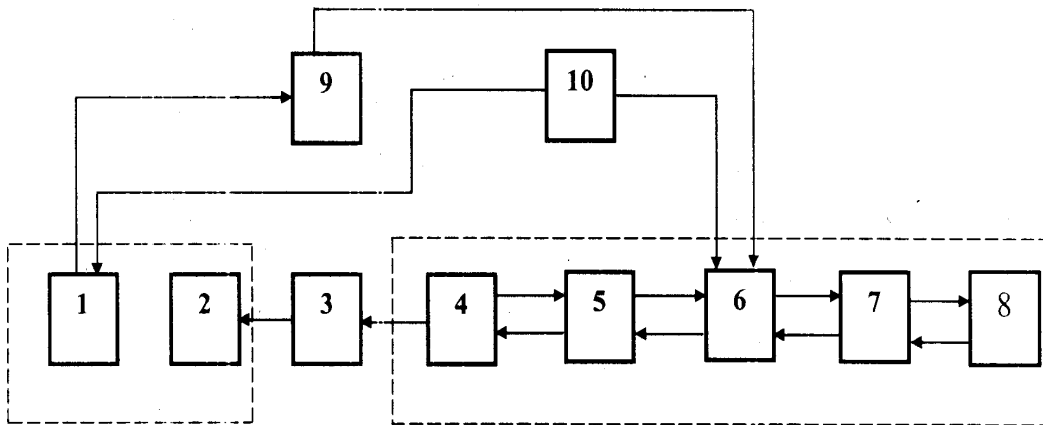


Рис. 1. Структура процесу управління радіокерованою моделлю літака:

- 1 -положення моделі, 2- бортова частина СДУ; 3- радіокомандна лінія;  
 4- наземна частина СДУ (портативний передавач); 5- виконавчі органи (руки пілота);  
 6- периферійна нервова система пілота; 7- центральна нервова система пілота;  
 8- мозок пілота; 9- зоровий аналізатор; 10-слуховий аналізатор.

Структура процесу пілотування радіокерованої моделі літака, у якій задіяні всі основні функції, показана на рис. 1. Процес являє собою виконання пілотом послідовності дій по встановленню положення моделі у просторі та наступного коректування цього положення за допомогою СДУ, яка працює в режимі радіокомандної лінії. Сигналом розузгодження тут є невідповідність між дійсним положенням моделі 1 та тим, що його хоче отримати пілот.

Порівняння проводиться за допомогою зорового 9 та частково слухового 8 аналізаторів. Власне сама СДУ (2,3,4) є передавально-приймальним пристроєм передаюча частина якого знаходиться у руках пілота, а приймальна встановлена на борту мо-

делі. Слід зауважити, що в межах дозволених норм вихідної потужності (у більшості країн до 1000 мВт) сучасна СДУ забезпечує управління рухомих об'єктом у повітрі з 2...3-кратним перекриттям віддалі оптичної бачимості, тобто теоретично 3...5 км. Для ліквідації впливу шкідливих сигналів застосовуються складні типи модуляції корисного сигналу (імпульсна, широтно-імпульсна тощо).

Передавач СДУ оснащений двома типовими ручками управління, що відхиляються руками пілота від нейтрального положення у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Ручки управління дозволяють задіювати одночасно всі три канали керування рулями моделі і канал РУД- ручкою управління двигуном. Додатково на передавачі можуть бути змонтовані ручки управління, які призначені для виконання допоміжних функцій. Крім того, для оперативного ввімкнення допоміжних функцій, важливі важільні чи кнопкові вимикачі можуть виноситися на наконечники основних ручок управління, що дозволяє їх вмикати незнімаючи рук з основних важелів. Таким чином, власне у процесі управління радіокерованою моделлю літака у пілота задіяні слуховий і зоровий аналізатори, а команди виконуються за допомогою пальців обох рук.

Зі схеми випливає, що стрілки від слухового та зорового аналізаторів спрямовані через нервову систему пілота до його мозку. Вони показують напрямок зворотнього зв'язку, який власне і передає інформацію до пілота про дійсне положення моделі. Спираючись на цей факт можна припустити, що процес управління БМЛ над полем у цілому буде повторювати вказану структуру.

Однак вона у такому вигляді не може бути прийнята через те, що на віддалі 150...300м пілот втрачає надійний контроль положення літаючої моделі на ультраталих висотах у 2...3м, тобто втрачається зворотній зв'язок, про що вказує цілий ряд дослідників [5]. У цьому контексті доцільним є встановлення такого типу зворотнього зв'язку, який би давав можливість пілотові штучно "продовжити" далекість свого бачення.

Технічно найпростіше це можливо при застосуванні методу "відеоока", тобто візуального спостереження за необхідним об'єктом за допомогою передаючої відеокамери та приймального монітора або мікромонітора. Метод знайшов широке застосування у різноманітних галузях техніки. Зокрема, можна навести приклад використання методу у крилатій ракеті FOG-M (рис.2).

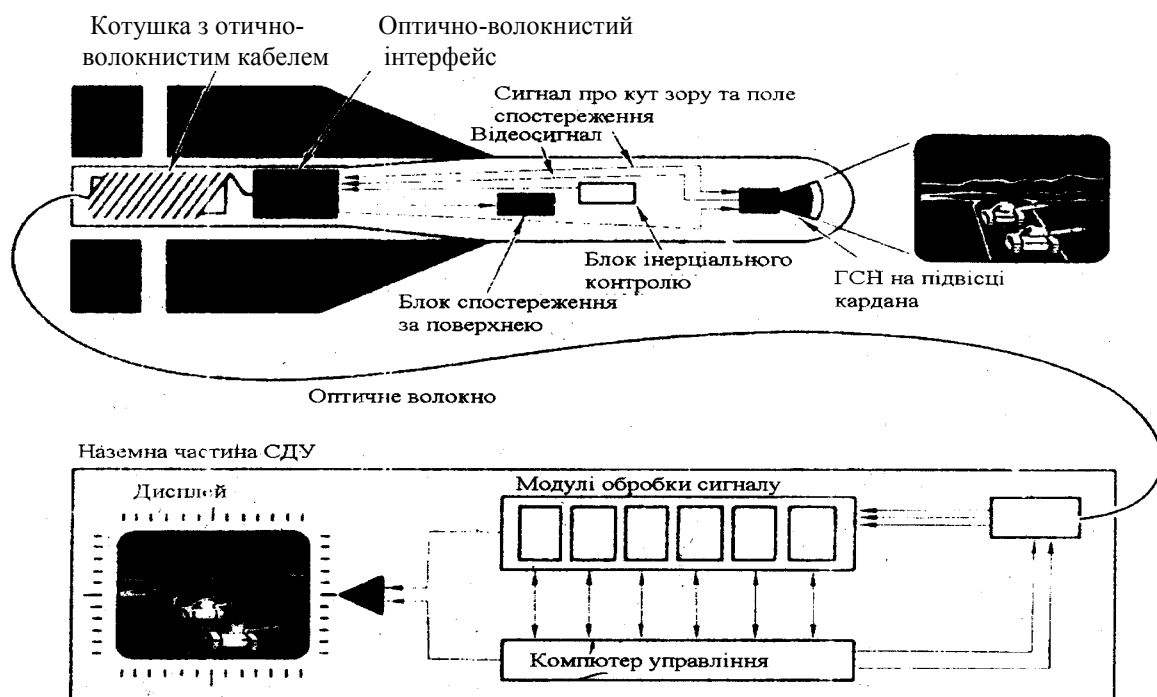


Рис.2. Схеми СДУ крилатої ракети FOG-M (США)

У даній ракеті він реалізований застосуванням відеокамери переднього огляду

та денного бачення з підвіскою на кардані. Вона отримує зображення об'єкта і її сигнал, проходячи ряд перетворень, подається в оптоволоконну лінію, яка зв'язує бортову та наземну частини СДУ. У наземній частині СДУ сигнал зазнає зворотніх перетворень і у вигляді телезображення виводиться на дисплей чи мікромонітор. Власне за цією схемою можна керувати вказаною ракетою у ручному режимі. Проте кардановий підвіс дозволяє реалізувати принцип самонаведення, для чого призначені модулі обробки сигналу та комп'ютер управління. У такому вигляді відеокамера переї ворюється у ГСН — головку самонаведення [4].

Не беручи до уваги наявність передаючого оптичного волокна, що для вказаного типу задачі (система одноразового використання) є достатнім, можна припустити, що цей спосіб наведення на ціль може бути базовим для дотримання прямолінійності руху на робочому проході БМЛ.

За ціль у випадку технологічного процесу роботи над полем необхідно обирати маркер, який відображає початок або кінець проходу (галсу) довжиною  $L_g$  (рис.3). Передачу сигналу з борту можна організувати через радіолінію, а кардановий підвіс ГСН для переведення БМЛ в режим самонаведення. Зображення при ньому найзручніше виводити на відеоокуляри - пристрій у складі мікромоніторів, що кріпляться на шоломі або на легкій підвісці на голові пілота. У них пілот спостерігатиме зображення місцевості, над якою пролітає БМЛ.

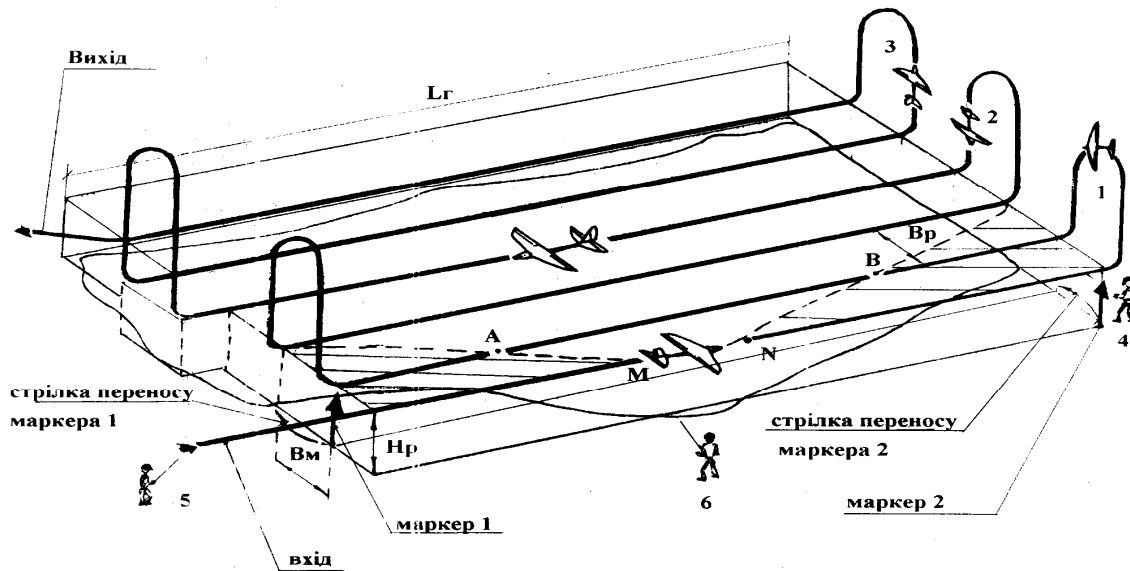


Рис. 3. Схема роботи БМЛ над полем за методом відеоприцілювання  
 1,2,3 - фази міжгалсового переходу; 4,5 - положення пілотів при двопілотній схемі;  
 6 - положення пілота при однопілотній схемі;  $L_g$  - довжина галсу (гона);  
 $H_p$  - робоча висота;  $B_p$  - робоча ширина захвату;  $B_m$  - крок переносу маркера;  
 $[AB], [MN]$  - відрізки включення апаратури внесення препаратів.

Під час обробки пілот знаходиться на землі й з пульта посилає радіокоманди з передавача на борт БМЛ для керування всіма його функціями та керує апаратурою внесення препаратів. Маркери 1 та 2 є цілячи, на які слід прицілюватися. У процесі переходу від одного проходу до іншого маркери необхідно переставляти на віддаль  $B_m$  що дорівнює робочій ширині захвату  $B_p$ . БМЛ рухається на робочій висоті  $H_p$  і по краях проходу виконує розворот для польоту у протилежну сторону (наприклад зривний поворот через крило) [1]. Одночасно з борту БМЛ до пілота надходить сигнал зворотнього зв'язку (відеозображення маркера та місцевості), який він спостерігає у відеоокулярах. По суті, пілот бачить те, що бачить пілот "великого" літака, знаходячись на його борту, тобто капот двигуна, місцевість, яка лежить перед БМЛ, лінію го-

ризонту та маркер.

Сигналами розузгодження, на які пілот реагує у процесі пілотування, буде переміщення маркера разом з лінією горизонту відносно вертикальної та горизонтальної осей видошукача відеоокулярів. При переході на електронні моделі місцевості з'являється можливість вести прицілювання на електронну модель маркера, який переміщується тільки у вигляді зображення, тобто віртуально. Однак при цьому методі водіння пілот БМЛ буде обмежений наступними факторами:

- не зможе сприймати тілом поштовхів та вібрацій від конструкції ЛА, що є індикатором стану параметрів руху;
- не зможе користуватися своїм вестибулярним апаратом з метою коригування положення БМЛ у просторі.

Проте результати досліджень і відповідно методики підготовки пілотів радіокерованих моделей літаків, а також більш як 40-річна практика їх пілотування говорять про те, що головними чинниками надійного контролю положення моделі у просторі є зір, добре розвинені просторова уява та окомір пілота, що, зрештою, є внутрішньою властивістю його особистості [7]. Ці питання можуть вирішуватися на рівні кваліфікованого професійного відбору.

За цією схемою можна розглядати два варіанти організації пілотування. Перший - з участю одного пілота, та другий - з участю двох пілотів. При очевидній перевазі однопілотного варіанту, два пілоти, розміщені на краях проходів, можуть відігравати роль маркерів, тим більше, що вимоги до проведення авіаробіт з повітря вказують на необхідність присутності двох сигнальників на краях проходів. Крім того, значної уваги потребуватиме точне встановлення моментів включення-виключення апаратури внесення препаратів, особливо при обробці малоформатних полів криволінійної конфігурації (відрізки АВ та MN). Звичайно, що проблема водіння над полем БМЛ може вирішуватися й іншими шляхами, проте, який би ми шлях не обирали, визначальну роль у її вирішенні буде відігравати висококваліфікований пілот, готовий до адекватної реакції на будь-яку ситуацію, що виникатиме під час виконання робіт. Очевидно, що загальний підхід при розробці СДУ для сільськогосподарських БМЛ можна сформулювати наступним чином: СДУ, розроблена за будь-яким з відомих шляхів, повинна тільки допомагати кваліфікованому пілотові виконувати роботу і лише частково замінити його. Відповідно до цього розроблена СДУ БМЛ, структурна схема якої приведена на рис.4. Особливістю приведеної схеми СДУ є наявність блоків системи безпеки, до яких належать:

- аварійний передавач;
- аварійні приймачі;
- аварійні парашути.

Аварійний передавач служить для зупинки двигуна та викидання гальмівного парашуту у ситуації, коли відсутній сигнал основного передавача. Вмикається аварійний передавач за допомогою так званої "червоної" кнопки. Цим може бути ліквідована небезпека виходу БМЛ з-під контролю або може бути перарвано його безконтрольний небезпечний рух. Крім того, у випадку відсутності радіосигналу з основного та аварійного передавачів, автоматично включається аварійний приймач 2, котрий спрацьовує при відсутності в ефірі несучої частоти передавачів. Відповідно при цьому викидається гальмівний парашут 2.

Сервомеханізми  $C_1...C_n$  функціонально пов'язані з приймачем основної СДУ і їх кількість залежить від кількості функцій, які потрібно виконувати впродовж повного циклу робіт БМЛ над полем.

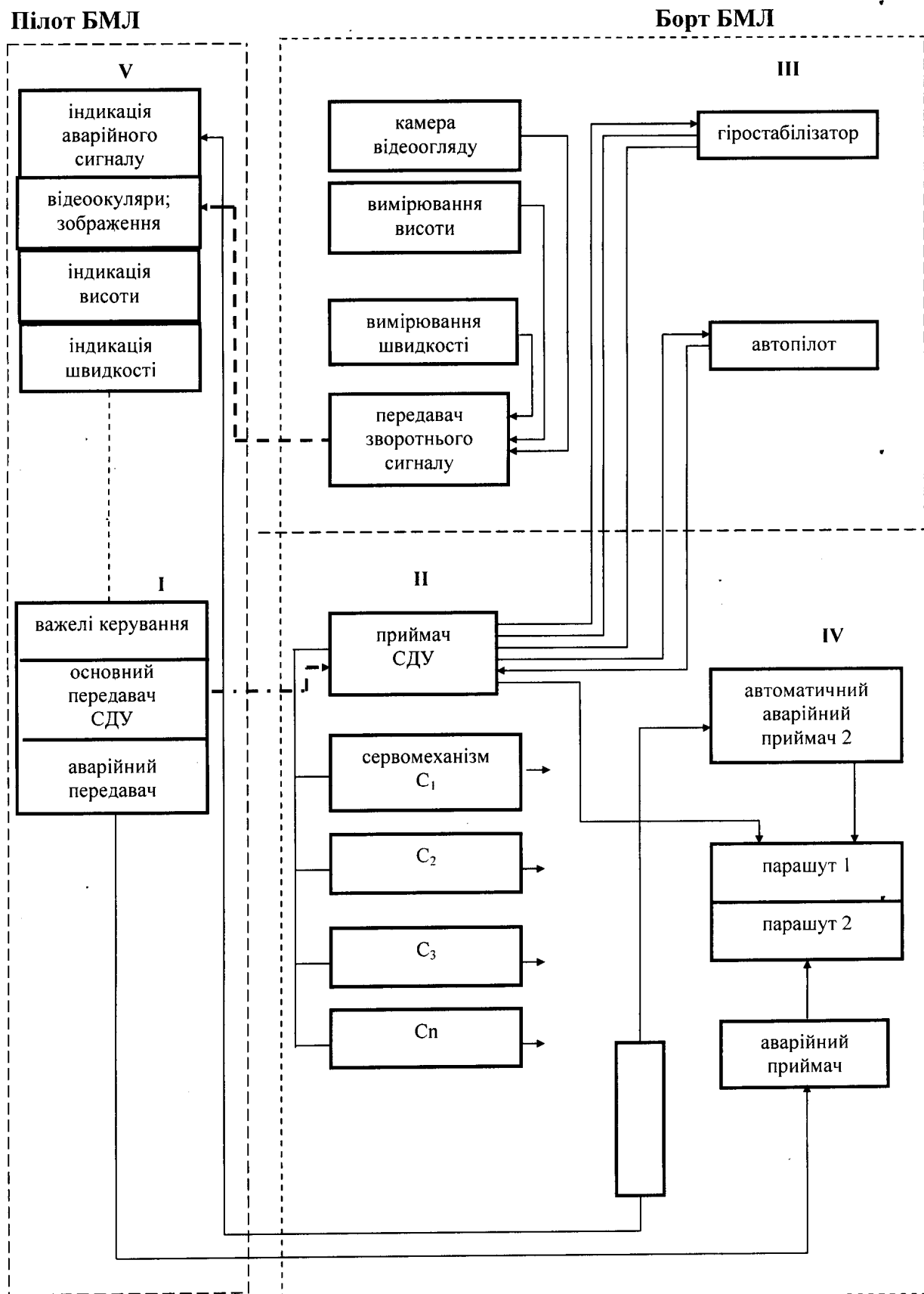


Рис.4. Блок-схема СДУ БМЛ  
 I -передавач СДУ; II -приймач СДУ з сервомеханізмами; III -блоки локальної автоматизації;  
 IV-блоки системи безпеки; V -приймач відеосигналу;  
 --- сигнал зворотнього зв'язку; - . . . сигнал правління.

### **Висновки**

- внаслідок своїх особливостей, БМЛ найбільше будуть поширені у сільськогосподарському виробництві для механізації процесів захисту рослин та моніторингу (спостереження) з повітря;
- швидкість їх руку коливатиметься у межах 19...40 м/с при висотах польоту в основному менше 5 м;
- базою для створення СДУ БМЛ може служити сучасна радіокомандна апаратура управління авіамоделями, технічний рівень якої сьогодні дозволяє отримати добре перешкодозахищену передачу сигналу, ресурс роботи біля 2000 робочих годин по електронних елементах та можливості роботи з різноманітними автоматичними пристроями управління;
- для забезпечення зворотнього зв'язку між пілотом та БМЛ доцільно застосовувати метод "відеоока" з передачею сигналу переднього огляду з борту БМЛ до очей пілота;
- запропонований принцип управління на базі радіокомандної СДУ із зворотнім відеозв'язком дозволяє поступово за рахунок введення в базову СДУ бортових засобів автоматизації польотів досягати вищого технічного рівня системи керування БМЛ у цілому;
- у структурі СДУ БМЛ необхідно передбачити засоби забезпечення безпеки оточуючих від його неконтрольованого польоту, які повинні реагувати як на присутність перешкоди у радіолінії так і на повну відсутність сигналу в останній.

*The parameters of technological processes in agriculture that are likely to be mechanized by means of the SRA were contemplated. The structure and composition of the remote craft control system for its guidance above the field using the videoaiming method were ascertained. The schemes of the SRA being controlled by one or two pilots at plant protection were shown.*

### **Література**

1. Матійчик М.П., Матійчик І.П. Вплив динаміки руху авіазасобів на ефективність технологічних процесів захисту рослин. Вісник ГДТУ. Тернопіль// 2001. С. 30-32.
2. Матійчик М.П., Боголюбов В.М. Ретроспективи та сучасні проблеми застосування малогабаритних радіокерованих літальних апаратів// Наукові записки НаУКМа.-Київ. — 1999.-Т9-С. 371-377.
3. Пірумов В.С., Червінський Р.А. Радіоелектроніка у війні на морі. -М: Військове видавництво, 1987.- С. 74-83.
4. Wanstall B. FAADS, FOG-M and fibre optics. INTERAVIA. N3, 1988. p 55-56.
5. Табаков Є. Літаючий помічник селянина// М.: Крила Батьківщини.-1989.-№1.-С.19.
6. Computer-SystemMC-16/20. Programmir-Handbuch. GRAI^NER GmbH & Co. Postfach 1242. D-73220. Kirchheim. Printed in Gennany. 9/98.
7. Каюнов М.Т., Васильченко М.Є. Підготовка пілота радіокерованих пілотажних моделей // Інформаційні матеріали. Авіамоделний спорт.-М.: ДТСААФ.-№7.-1978.- 28 с.

*Одержано 11.06.2002 р.*