

УДК 533.695.14

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/0203-3771362018158278>

О. П. Мариношенко¹, к.т.н., доцент, **В. В. Лапушенко²**, бакалавр,
Н. Д. Гелашвілі³, бакалавр, **В. О. Школьний⁴**, бакалавр

БЕЗПЛОТНИЙ АВІАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН

En

Modern unmanned aircraft complexes are widely used in agriculture and allow you to make decisions to eliminate or localize problems such as cost optimization of fertilizers and pesticides, prediction crop yields, planning of logistics solutions, improving the class of grain, etc. Also the agricultural drone are used for spreading – trichogramma. Trichogramma is a biological material - biological plant protection mean, and accordingly it's - an environment friendly. The trichogramma protects a large number of cultures from various species of pests.

Kiev LLC "ABRIS" with the participation of students of "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" design and develop an unmanned aerial vehicle (UAV) "FLIRT Iron" for release of a trichogramma

Designed UAV is equipped with release electromechanical devise and modern navigation equipment, which allows to accurately and evenly spread the trichogram over the entire treated area.

The application rate of the entomological mean - trichogram is 3 g / ha. This

¹ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», кафедра авіа-та ракетобудування

² НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», механіко машинобудівний інститут

³ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», механіко машинобудівний інститут

⁴ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», механіко машинобудівний інститут

leads to the fact that the use of manned aircraft technology becomes inefficient due to the fact that the necessary spread of active substance is extremely small values. The existing approach with using of manned aviation can not provide low costs spreading. Also the usage of light and ultra light manned aircraft is not appropriate due to low speed and altitude of the flight. Moreover the manned flight in extremely dangerous conditions (low altitude and speed) demands significant high professional pilot skills. Therefore it is more efficient to use UAV's for such kinds of aviation applications.

The maintenance group of the FLIRT Iron UAV consists of three members and can process up to 1000 ha per day. To provide the proportional spreading of trichogramma the UAV also is equipped with special aeronautical software for flight mission planning. The application rate of trichogramma is about 50-120 thousand wasps per one hectare, it corresponds to a volume of 3-7 cm³. The team of our design bureau has developed and manufactured a device that can be used with any type of existing UAV for spreading trichogram in fully automatic mode. The characteristics and design process of UAV complex is described in full version of the article.

Ru

Современные беспилотные авиационные комплексы широко используются в сельском хозяйстве и позволяют принимать решения по устранению или локализации проблем, оптимизации затрат на удобрения и пестициды, прогнозированию урожайности, осуществлять планирование логистических решений, принимать меры по повышению класса зерна и др. Также с помощью аграрных беспилотников можно вносить трихограмму, которая является биологическим материалом - средством биологической защиты растений, а соответственно - экологически чистым препаратом, для защиты большого количества культур от различных видов вредителей.

Переход на эко-продукты - это один из способов увеличения прибыли фермеров, а также является первым шагом на пути к органической продукции, которая избавит посевы от химической обработки. Спроектировано и разработано устройство автоматического распыления трихограммы которое совместно с использованием адаптированного программного обеспечения позволяет оптимизировать процесс внесения средств биологической защиты посевов.

Разработанное устройство также как и беспилотный комплекс в целом прошли серию испытаний в реальных условиях работы, подтвердив пригодность и рациональность их использования.

Вступ

Сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА) дозволяють приймати рішення щодо усунення або локалізації проблем, оптимізації витрат на добрива і пестициди, прогнозування врожайності, планування логістичних рішень, підвищенню класу зерна тощо. Також за допомогою аграрних БПЛА можна вносити трихограму (рис. 1), яка є біологічним матеріалом – засобом біологічного захисту рослин, а відповідно – екологічно чистим препаратом, для захисту великої кількості культур від різноманітних видів шкідників. Ця технологія, у свою чергу, підвищує врожайність і якість, то-

му мінімізує вартість і травматичний вплив на посіви за рахунок внесення із повітря без використання важкої техніки.



Рис. 1. Яйця трихограми

Самка трихограми відкладає яйце у яйце комахи-шкідника, після чого личинка харчується його вмістом і з часом виходить назовні. Так як сама трихограма не є шкідником, то її розмноження не впливає негативно на сільськогосподарські культури. Але знищуючи кладки комах-шкідників допомагає захистити, а саме, кукурудзу, яблуні, груші, баштанні культури та багато іншого.

Особлива цінність трихограми полягає у тому, що вона, заражаючи яйця шкідників, знищує їх до початку шкодочинної стадії (поява гусені). Розвиток трихограми відбувається всередині яєць шкідників, вмістом яких живиться її личинка. Розселяється трихограма невеликими перельотами, а напрямок розселення часто залежить від напрямку вітру. Зараження яєць шкідників трихограмою найактивніше у перші два–три дні її життя. Плідність трихограми залежить від величини яйця, у якому вона розвивається, можливості додаткового живлення, а також від погодних умов. Сухе повітря й висока температура пригнічують трихограму, а наявність крапельно-рідкої вологи, навпаки, сприяє підвищенню плідності й тривалості життя паразита, як і наявність квітучої рослинності.

Ефективність застосування буває різною – від дуже високої 75 - 85 % до 40 – 60 %, а то й до 30 %. Неправильна оцінка фахівцями можливостей трихограми у розрізі культур спричинила певне розчарування із приводу перспектив її використання у боротьбі зі шкідниками.

Одним із характерних прикладів може бути застосування трихограми на капусті, де добрим результатом, який давав право на одержання преміальних, вважали ефективність понад 70 % паразитуючих яєць капустяної совки, яку забезпечити було зовсім просто. Але «підводним каменем» були

30% непаразитуючих яєць, єдина гусениця із яких могла звести нанівець усі зусилля агронома, ушкодивши вражай. Тоді як на багаторічних травах, горосі, сої, кукурудзі для зниження загального фону лускокрилих шкідників досить було зменшити кількість останніх на 40 - 60 %, особливо у роки, коли трихограму застосовували масштабно в межах господарств, районів і областей.

Останніми роками в Україні відновився інтерес до біологічного методу захисту рослин. Пов'язано це з тим, що надії на простоту й економічність хімічних пестицидів явно не виправдалися.

Важливим моментом успішного застосування трихограми можна вважати випускання її в агроценози якомога раніше навіть на тих ділянках, де шкідники не являють особливої небезпеки і трихограма може накопичуватися у достатній кількості.

Застосування трихограми

Застосовують трихограму так: випускають у великій кількості паразита в агроценози у період яйцекладки певних видів шкідників. Тому дуже важливо правильно оцінити можливості обраної трихограми та природних популяцій ентомофагів на певній культурі. Так, визначено, що в агроценозі кукурудзяного поля, особливо на початку яйцекладки кукурудзяного стеблового метелика, недостатньо природної ентомофауни, а природної трихограми у цей період практично немає.

За ретельного розгляду даного питання стає зрозумілою потреба збільшення кратності й норм випускання трихограми, особливо тоді, коли в агроценозі наявна бавовникова совка, яка відкладає яйця поодинокі або групами по чотири штуки. Зважаючи на те, що трихограма має слабкі літальні здатності, а яйця шкідників вона знаходить переважно способом прямого контакту, то з появою серед шкідників кукурудзи ще й бавовникової совки неминуче постає питання про збільшення норми випускання трихограми.

Використовують трихограму методом сезонної колонізації. Вважається, що трихограма, випущена на початку яйцекладки шкідника, розмножуватиметься на оброблених полях і дасть ще одне-два покоління протягом однієї генерації свого господаря. Тому принципово важливою умовою одержання ефекту від трихограмування є своєчасні й, за можливості, дуже ранні випускання ентомофага.

Київським ТОВ «*ABRIS*» [1] за участю студентів КПІ ім. Ігоря Сікорського спроектовано та розроблено для внесення трихограми безпілотний літальний апарат (БПЛА) «*FLIRT Iron*», який оснащений електродозаторами трихограми та сучасним навігаційним обладнанням, що дозволяє точно і рівномірно розселити трихограму по всій оброблюваній площі.

Норма внесення ентомологічного препарату трихограми становить 3 г/га. Це призводить до того, що використання пілотованої авіаційної техніки стає неефективним через те, що потрібний запас активної речовини є надзвичайно малим, а існуючі засоби розселення не можуть забезпечити настільки низькі витрати активної речовини. За таких малих об'ємах розпилення дуже недоцільно використовувати навіть легку пілотовану авіацію. Із появою БПЛА їх почали залучати для вирішення цієї задачі. До того ж швидкість і висота польоту літака під час внесення трихограми становлять суттєву загрозу пілоту літака і потребують високої професійної майстерності.

Екіпаж розроблено безпілотного комплексу «*FLIRT Iron*» складається із трьох фахівців і за день може забезпечити внесення трихограми на площі до 1000 га. Для здійснення роботи комплексу потрібно створити систему рівномірного розселення (внесення) ентомологічного препарату – трихограми та програму виконання робіт. Норма внесення трихограми на поля становить близько 50 – 120 тис. осіб на гектар, що відповідає об'єму 3 – 7 см³. Колективом нашого конструкторського бюро був розроблений і виготовлений пристрій, який може забезпечити використання майже будь-якого БПЛА для розпилення трихограми в повністю автоматичному режимі. Про характеристики і конструкцію даного пристрою і буде йтись у цій статті.

Постановка задачі

Спроекувати та виготовити зразок пристрою для розпилення трихограми, далі AP-1 (Автономний розпилювач модель 1). Забезпечити якомога найбільшу простоту, дешевизну та технологічність виробу. БПЛА із AP-1 на борту повинен у повністю автоматичному режимі проводити розпилення трихограми.

Початкові розрахунки

На початковому етапі розробки були проведені розрахунки та виведені співвідношення для визначення необхідних характеристик AP-1. Так щоб забезпечити сталу кількість розпиленої трихограми на одиницю площі швидкість розпилення має регулюватись у залежності від швидкості носія. Раніше була визначена оптимальна висота польоту для виконання поставленої задачі, яка становить 15 м. За такої висоти польоту ширина смуги розпилення становить близько 15 м (рис. 2).

Час польоту над смугою площею 1 га зі швидкістю польоту v_n буде становити:

$$t_1 = (10000 / 15) / v_n .$$

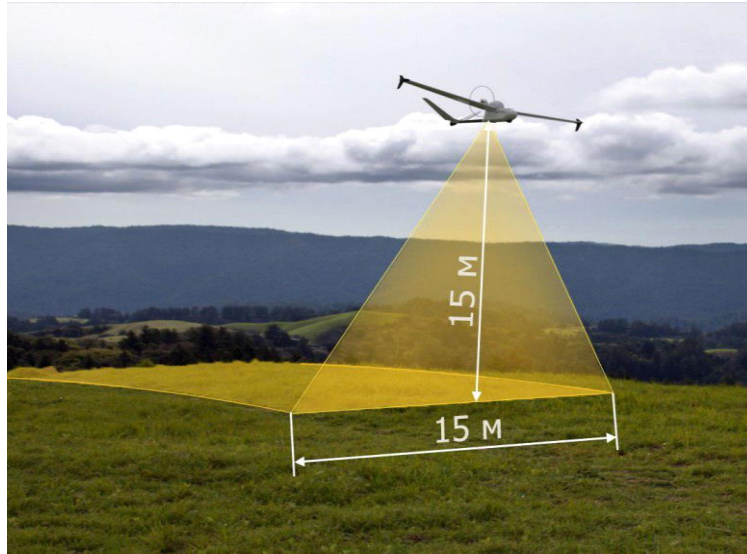


Рис. 2. Схема розпилення

Разом із тим на площі у 1 га потрібно розпилити 3 см^3 (3000 мм^3) суміші, тому необхідний об'єм, що буде вноситись за одну секунду становить:

$$V_1 = 3000 / t_1.$$

Для визначення характеристик розпилювача за швидкість польоту була взята крейсерська швидкість БПЛА, а саме 18 м/с . Таким чином, отримані наступні числові результати: $t_1 = 37 \text{ с}$; $V_1 = 81 \text{ мм}^3$.

Будова пристрою та принцип роботи

На основі отриманих результатів розрахунків була розроблена конструкція розпилювача, зображена на рис. 3 та рис. 4.

Гранули під своєю вагою потрапляють із баку (7) через отвір у корпусі (1) до однієї із комірок барабану (2). Барабан обертається зі швидкістю, яка залежить від швидкості польоту носія (БПЛА), за допомогою сервоприводу (5). Коли комірка барабану опиняється напроти нижнього отвору, то вміст висипається. Напруга, що подається на сервопривід регулюється автопілотом, який і змінює швидкість обертання. Рух передається за допомогою муфти (3). Кришка корпусу (4) запобігає зміщенню барабану. Весь пристрій закріплений на основі (5).

Для планування польотної місії використовувався програмний продукт *Flight Planner* [2] – це автоматичне програмне забезпечення для планування польотів безпілотних літальних апаратів у цілому та автономних літаючих робототехнічних комплексів, розроблених та виготовлених, зокрема, ТОВ «*ABRIS*» [1]. Планування польоту, орієнтованого на місію, є складним та трудомістким процесом, що потребує глибоких знань про автопілоти, їх внутрішні комунікаційні та реалізаційні деталі, динаміку польотів літальних апаратів, оптику тощо.

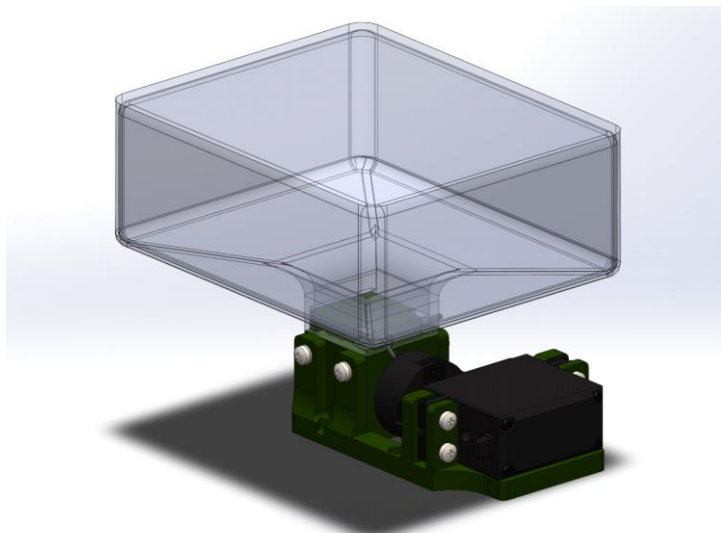


Рис. 3. Загальний вигляд AP-1

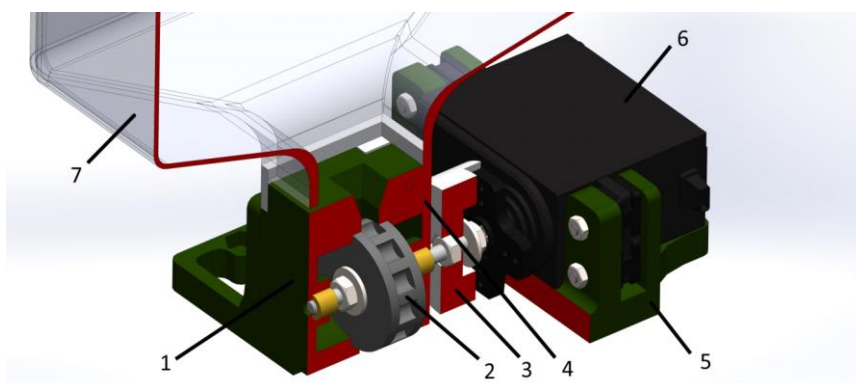


Рис. 4. Будова AP-1

Планувальник місії приховує всі ці технічні деталі за простим у використанні інтерактивним інтерфейсом, де потрібно лише вказати деталі, пов'язані з місією, а всі інші завдання зі створення оптимального плану польоту виконуються повністю автоматично. Отримані навігаційні точки та команди автопілота генеруються відповідно до визначених вимог, пов'язаних з місією, орієнтуючись на оптимальні характеристики літака.

Перелік основних функцій планувальника польотних місій БПЛА

- Підтримка різних видів карт (супутникові, схематичні, кольорові власні електронні карти користувача);
- Підтримка файлів *KML* для імпорту та експорту даних польоту у програму *Google Earth*;
- На картах відображаються точки злітно-посадкових та польотних зон (районів) та маршрутів;
- Дані про погоду отримуються у режимі реального часу та використовуються для отримання оптимальної програми польоту;

- Легко налаштований підбір літаків із необхідним корисним навантаженням;
- Відображення параметрів польоту (висота, швидкість вітру, рух, градієнти тощо), які розраховуються та відображаються на графіках;
- Безпека польоту автоматично перевіряється із використанням даних про висоту;
- Розраховується загальний час польоту, відстань, витрати акумуляторних батарей;
- Програма польоту із точки зору точок навігації та автопілотних команд автоматично створюється та експортується у стандартний файл *Waypoint*;
- Під час планування місії вибираються точки зльоту та посадки, площа розпилення.



Рис. 5. AP-1 встановлений на БПЛА *Flirt Iron*

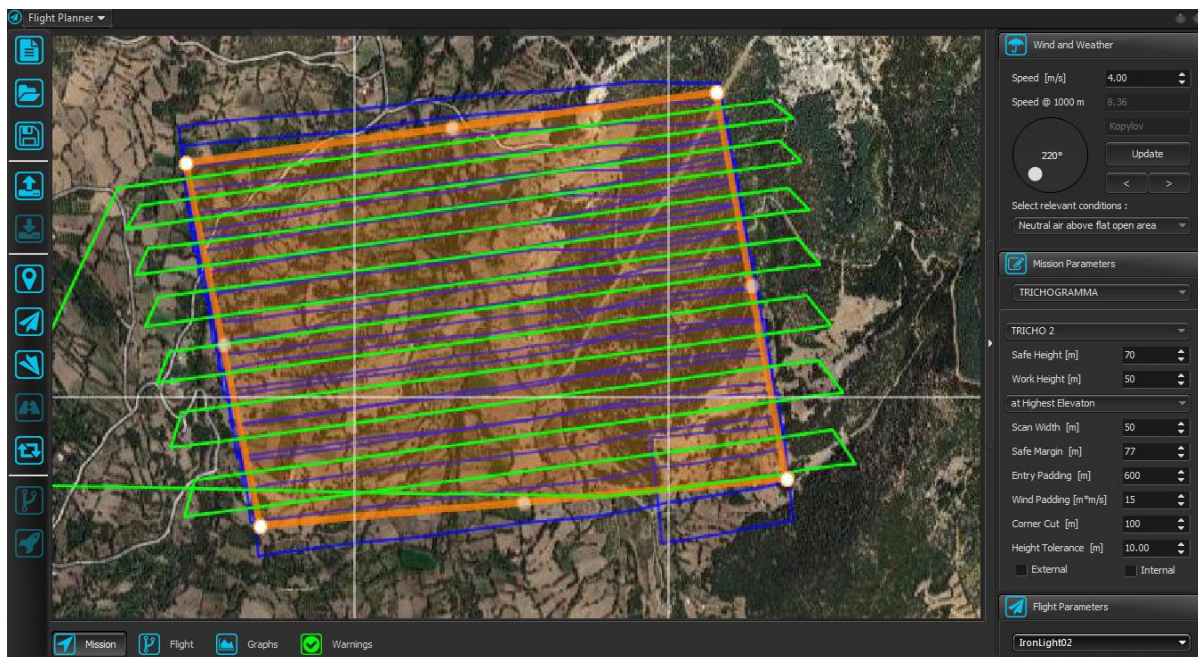


Рис. 6. Планування місії за допомогою програми *Flight Planner*

- Для вдалого планування місії необхідно ввести коректно параметри для польоту із трихограмою, які наведені у табл. 1.

Таблиця 1.

Параметри <i>Flight Planner</i> для польоту із трихограмою	
<i>Safe Height</i>	Безпечна висота польоту, ≈ 50 м
<i>Work Height</i>	Робоча висота польоту, $\approx 15 \dots 18$ м
<i>At Lowest Elevation</i>	Політ відносно нижньої точки по висоті на маршруті
<i>At Average Elevation</i>	Політ відносно середньої точки по висоті на маршруті
<i>At Highest Elevation</i>	Політ відносно вищої точки по висоті на маршруті
<i>Terrain Following</i>	Політ відносно рельєфу землі
<i>Scan Width</i>	Ширина маршруту, ≈ 35 м
<i>Safe Margin</i>	Відступ від краю поля, ≈ 100 м
<i>Entry Padding</i>	Відступ від кромки поля на вході, ≈ 200 м
<i>Wind Padding</i>	Відступ по вітру, ≈ 15 м х м/с вітру
<i>Corner Cut</i>	Зріз кута ≈ 120 м

Далі місія конвертується у формат *Waypoints*.

Запис місії на автопілот літака відбувається за допомогою програми *Mission Planner* [3].

Після того як місія записана, оператор БПЛА має її зчитати з автопілота. Таким чином перевіряється наявність коректної місії в автопілоті.

Висновки

У роботі розглянуті питання біологічного захисту рослин шляхом розселення ентомологічних препаратів за допомогою запропонованого пристрою для автоматичного внесення трихограми.

Перехід на еко-продукти – це один із способів збільшення прибутку фермерів, а також є першим кроком на шляху до органічної продукції, яка позбавить посіви від хімічної обробки. Розглянутий пристрій автоматичного розпилення трихограми поряд із адаптованим програмним забезпеченням дозволяє оптимізувати процес внесення засобів біологічного захисту посівів.

Описаний пристрій пройшов серію випробувань в реальних умовах роботи, підтвердивши придатність і раціональність його використання.

У подальших роботах авторів будуть розглянуті питання оптимізації комплексу для біологічного захисту посівів.

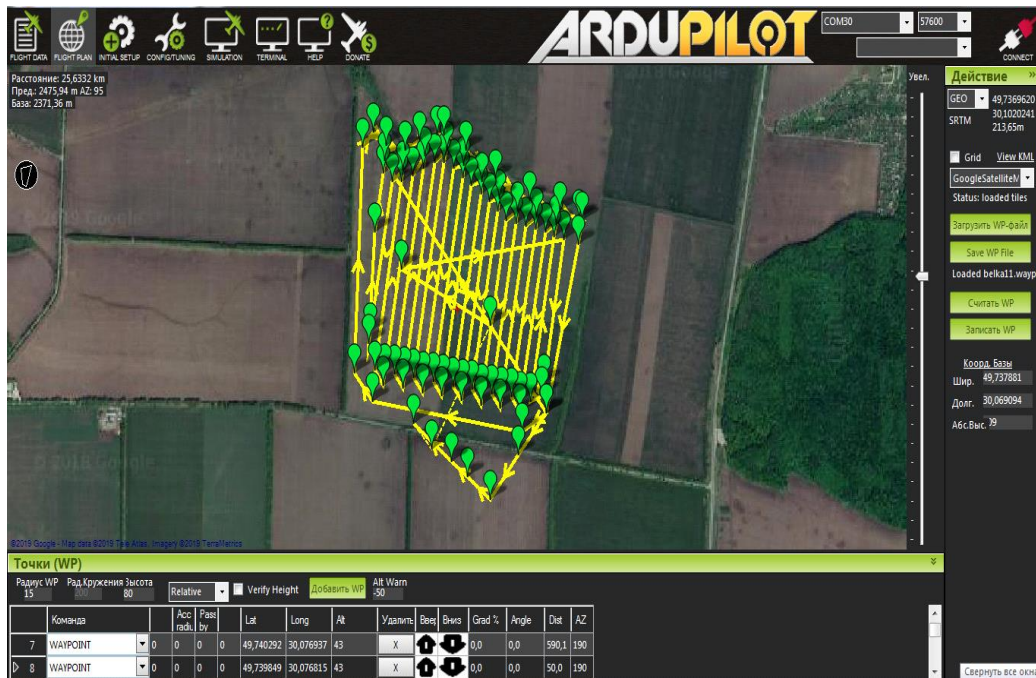


Рис. 7. Завантаження місії за допомогою програми *Mission Planner*

Список використаної літератури

1. About us, ABRIS Pilotless Tools, [From the Internet], <https://abris.aero/pro-nas/>.
2. Flight Planner, Abris aero, [From the Internet], <https://abris.aero/598-2/>.
3. Mission Planner Home, ArduPilot, [From the Internet], <http://ardupilot.org/planner/>.
4. Monitorynh silskohospodarskykh uhid, ABRIS Pilotless Tools, [From the Internet], <https://abris.aero/monitoring-silskogospodarskiyh-uhid/>.
5. ABRIS DG FLIRT Iron, Smart Drones, [From the Internet], <https://smartdrones.ua/products/flirt-iron>.
6. *Kanchenko V. A., Marynoshenko O. P., Karnaushenko R. V., Chepur M. L., (2011), "Systema rozselennia entomolohichnoho preparatu dlia maloho bezpilotnoho litalnoho aparata", Informatsiini systemy, mekhanika ta keruvannia, vol.7, pp. 88–95.*
7. *Bondarenko N. V., Pospelov S. M., Persov M. P. (1983), Obshchaia y selskokhoziaistvennaia entomolohyia, Kolos, pp. 416.*
8. *Myronenko V. H., Maranda S. O., (2011), "Perspektyvy vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ u silskomu gospodarstvi Ukrainy", Visnyk NUBiP, vol.5, pp. 27–32.*
9. *Myronenko V. H., Maranda S.O., Karnaushenko R.V., (2012), "Bepilotnyi litalnyi aparat "A-1" dlia biolohichnoho zakhystu roslyn z odnochasnym monitorynom stanu polia", Tekhnika i tekhnolohii APK, vol.8, pp.11–14.*
10. *Kobets M., (2012), "Potentsial bezpilotnykiv", The Ukrainian Farmer, vol.3, <http://www.agrometic.net/magazines/>.*