

УДК 004.896

УТОЧНЕННЯ СТАНУ ТА ОБСЯГІВ ВРОЖАЮ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

С. А. Шворов, Н. А. Пасічник, О. О. Опришко, Д. С. Комарчук, К. В. Ковтун

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: sosdok@i.ua.

Історія статті: отримано – травень 2018, акцептовано – вересень 2018.

Бібл. 7, рис. 6, табл. 0.

Анотація. Для уточнення стану урожаю та формування картограм урожайності запропоновано використовувати систему технічного зору на базі безпілотного літального апарату (БПЛА). Відеоінформація, яка приймається системою технічного зору БПЛА, передається в базу даних геоінформаційної системи (ГІС). За допомогою спеціального математичного та програмного забезпечення розраховуються і відображаються на електронній карті місцевості картограми врожайності для кожної ділянки місцевості. Показано, що використання систем технічного зору на базі безпілотного літального апарату дозволяє підвищити ефективність планування маршрутів безпіотної збиральної техніки (БЗТ) з урахуванням особливостей ділянок місцевості та різних перешкод на шляху руху БЗТ. Розглянуті можливості застосування спеціального програмного забезпечення виробництва НУБіП Land damage expert (LDE) для визначення стану та обсягів урожаю на основі даних, отриманих з безпілотного літального апарату. Описано принципи використання і методи обробки навігаційної та зорової інформації при вирішенні основних завдань планування руху збиральної техніки і польоту безпілотного літального апарату.

Ключові слова: безпілотна збиральна техніка; система технічного зору; картограми урожайності, геоінформаційна система, безпілотний літальний апарат, спеціальне програмне забезпечення.

Постановка проблеми

Питання обробки і аналізу зображень при вирішенні різних завдань спостереження з БПЛА широко висвітлені у вітчизняній і зарубіжній літературі. Однак проблемі, пов'язаній зі спостереженнями з безпілотних літальних апаратів за станом урожаю для формування картограм урожайності, що необхідно для оптимального планування маршрутів руху, режимів роботи та навігації збиральної техніки, приділяється недостатньо уваги [1]. Метою навігації БЗТ є знаходження оптимальних (відповідно до заданих критеріїв) маршрутів її переміщення між заданими точками простору з урахуванням перешкод та

картограм урожайності [2]. Виходячи із цього, розробка нових моделей, методів і алгоритмів уточнення стану врожаю за допомогою безпілотних літальних апаратів є актуальною науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз останніх досліджень та публікацій [1, 3-5] показує, що на даний час за кордоном та в Україні активно ведуться роботи по застосуванню БПЛА для уточнення стану врожаю. Це викликане тим, що на процес збирання врожаю накладаються як часові, так і вартісні обмеження. Інколи агрофірми зазнають колосальних збитків через неможливість своєчасно визначити стан урожаю, необхідну кількість збиральної техніки та оптимальне планування збиральних робіт з урахуванням картограм урожайності на кожній ділянці та перешкод на шляху руху БЗТ.

Мета досліджень

Мета досліджень – розробка методичних основ визначення стану врожаю, картограм урожайності та перешкод на шляху руху безпіотної збиральної техніки за допомогою БПЛА.

Результати досліджень

Процес планування змісту та часу планування траєкторій руху БЗТ поділяється на декілька етапів, а саме: формування електронної карти місцевості, картограм урожайності, визначення всіх видів перешкод на кожній ділянці з БПЛА та розрахунок оптимальних маршрутів руху і режимів роботи БЗТ на основі застосування методів статистичного аналізу та штучного інтелекту.

Значну роль у вирішенні цієї задачі відіграють спеціалізовані геоінформаційні системи (ГІС), що враховують як просторову прив'язку, так і спеціальні відомості про обсяги урожаю. Як показує практика, зйомки з БПЛА не тільки підвищують точність,

однорідність, об'єктивність і частоту спостережень, а й дозволяють істотно удосконалити методи оперативного контролю за станом посівів і прогнозування врожаю.

Для ефективного керування БЗТ необхідне рішення багатьох складних завдань, серед яких збір даних з БПЛА та їх обробка за допомогою спеціального програмного забезпечення моніторингу стану врожаю.

Для вирішення задач аналізу, прогнозу і оптимізації керування БЗТ геоінформаційні системи повинні включати цифрові карти схилу з моделлю рельєфу місцевості та експозицій схилів, урожайності, розташування ліній електропередач та інших стаціонарних перешкод на шляху руху БЗТ.

Обробка графічних даних за результатами фотозйомки з БПЛА проводиться за допомогою спеціального програмного забезпечення виробництва НУБіП – LDE, інтерфейс та блок налагодження якого наведені на рис. 1.

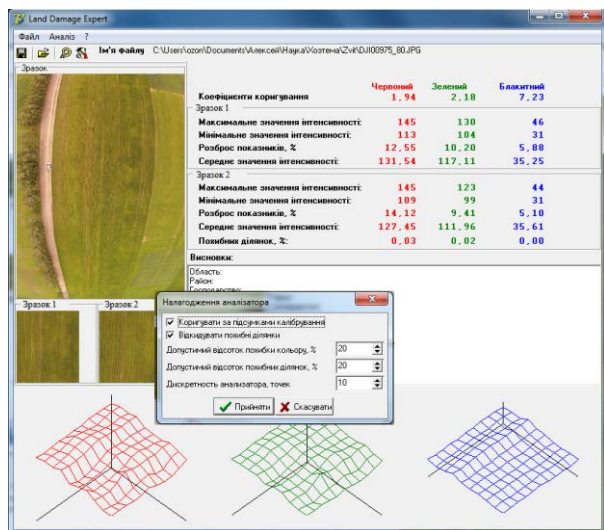


Рис. 1. Інтерфейс та блок налагодження програми Land damage expert.

Програма LDE дозволяє за допомогою маніпулятора (миші) на електронній карті місцевості виділяти дослідні ділянки, для яких проводиться статистична обробка графічних даних.

Оскільки стандартний формат JPEG визначає значення RGB не для кожного конкретного пікселя, а для ділянок з однаковими параметрами, програма LDE перетворює дані з формату JPEG в формат BMP, в якому значення яскравості складових адитивної моделі кольору утворення визначаються для кожного пікселя.

Програма має можливість визначення координат перешкод на електронній карті місцевості, значення RGB яких відрізняються від середнього на відповідний відсоток (10-15%), що враховується при налагодженні програми (див. рис. 1).

Для планування руху БЗТ відомою інформацією є координати площі, на якій планується збирання врожаю, початкове місце знаходження кожної БЗТ та кінцеві точки її маршруту, координати перешкод та ділянок без урожаю, картограми урожайності, що

отримані за допомогою БПЛА та оброблені програмним забезпеченням Land damage expert.

Результати аналізу картограм урожайності та координат перешкод використовуються для оптимізації керування збирально-транспортною технікою (рис. 2).

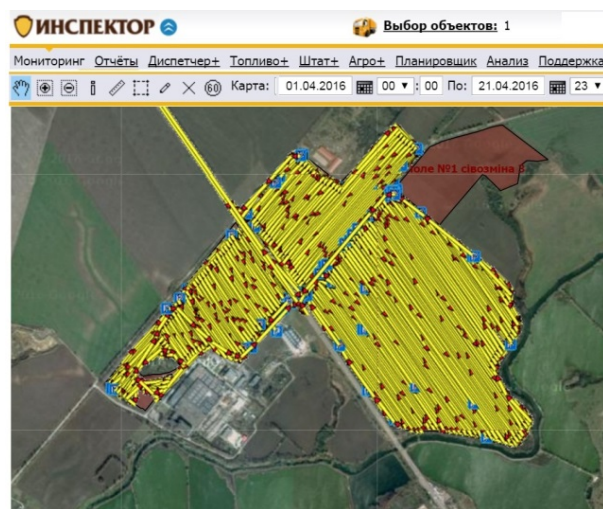


Рис. 2. Фактична ситуація руху по полю БЗТ, яка знята GPS-трекером та відображена у звітному програмному забезпеченні «Інспектор».

У технологічному аспекті ГІС є засобом збору, зберігання, аналізу, візуалізації просторово-часових даних про ГІС-об'єкти.

Саме ГІС-технологія дозволяє надати детальний опис будови поверхні оцінюваної території, особливостей ґрунтового покриття та використання земель, створює реальні передумови для їх опрацювання. Серед існуючих джерел даних для ГІС відомі: картографічні джерела, фотографічні дані польових пошуків і різних кадастрів, дані з мережі Інтернет і статистичні дані.

За допомогою спеціального програмного забезпечення моніторингу стану та визначення картограм урожайності вирішуються наступні задачі:

1. Збір інформації в базі даних ГІС з БПЛА про обсяги урожаю.
2. Визначення перешкод та геометричної форми поля для планування маршрутів БЗТ.
3. Обробка інформації за допомогою алгоритму визначення картограм урожайності для планування та оптимізації маршрутів руху і режимів роботи БЗТ.
4. Видача рекомендацій щодо застосування збирально-транспортної техніки.

Таким чином, сформовані рекомендації використовуються для планування збиральних робіт та визначення оптимальних маршрутів руху і режимів роботи БЗТ з урахуванням багатьох критеріїв оптимальності, таких як зменшення витрат пального, небезпечного об'їзду перешкод та ділянок без біомаси.

Завдання позиціонування БПЛА полягає у визначенні орієнтирів, що потрапляють у поле зору камери, положення (X_c, Y_c, Z_c) і орієнтації $R(\alpha, \beta, \delta)$ БПЛА. Для цього матриця орієнтації БПЛА формується з використанням кутів Ейлера (рис. 3):



Рис. 3. Прив'язка до місцевості знімків з БПЛА по опорних точках.

$$R(\alpha, \beta, \delta) = R_{\delta}^{Z''} R_{\beta}^{X'} R_{\alpha}^Z = \begin{pmatrix} \cos \delta & \sin \delta & 0 \\ -\sin \delta & \cos \delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{де } \alpha \in [0, 2\pi], \beta \in [0, \pi/2], \delta \in [0, 2\pi], \quad (2)$$

$$x_i = -f_x \frac{r_{11}(X_i - X_c) + r_{12}(X_i - X_c) + r_{13}(X_i - X_c)}{r_{31}(X_i - X_c) + r_{32}(X_i - X_c) + r_{33}(X_i - X_c)} + a_x;$$

$$y_i = f_y \frac{r_{21}(X_i - X_c) + r_{22}(X_i - X_c) + r_{23}(X_i - X_c)}{r_{31}(X_i - X_c) + r_{32}(X_i - X_c) + r_{33}(X_i - X_c)} + a_y,$$

$r_{ij} = r_{ij}(\alpha, \beta, \delta), i, j = 1, 2, 3.$

При накладених обмеженнях (2) кути β та δ стають рівними нулю, а значить орієнтація БПЛА задається одним кутом α .

Як правило, оцінка стану рослинності за допомогою зйомки БПЛА визначається на основі використання нормалізованого вегетаційного індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Цей індекс розраховується як різниця значень відображення в ближній інфрачервоній і червоній областях спектру, поділена на їх суму. При цьому використовується спеціальна NIR-модифікована камера, що значно збільшує вартість зйомки порівняно зі звичайною фотоапаратурою [1].

Для оперативної оцінки та аналізу оптичних образів об'єктів рослинних насаджень (полів) із використанням спектральних характеристик, в оптичному діапазоні отримане зображення розбивається на частини, що дорівнюють площі, наприклад, 10*10 метрів. Розмір площі визначається, виходячи з технологічних габаритів жаток збиральної техніки, і може коригуватися залежно від типу та марки обладнання. За результатами попередніх досліджень визначена оптимальна висота зйомки 100-120 м над полем. При масштабуванні отриманого зображення розмір площі поля з рослинною культурою 10*10 метрів відповідає розширенню 128*128 пікселів. Дані представляються адитивною моделлю кольорів у форматі RGB. При переведенні зображення у векторну форму отримується вибірка достатньо великим об'ємом: $128*128*3 = 49152$ комірочки даних. З огляду на те, що для обробки та аналізу такого об'єму даних витрачається багато ресурсів і часу, виникає необхідність використання

методів статистичного аналізу отриманих результатів, адекватних завданню. Із цією метою проводиться розрахунок статистичних показників, які дозволять оцінити максимальний і мінімальний елементи вибірки, середнє значення, медіану, моду, взаємний вплив аналізованих факторів та інші описові статистики. Головним завданням описової статистики є надання стислої та концентрованої інформації аналізу даних в числовому і графічному вигляді.

Показники описової статистики розбиваються на кілька груп:

- показники стану, що описують стан експериментальних даних на числовій осі; приклади таких даних – максимальний і мінімальний елементи вибірки, середнє значення, медіана, мода та інші;

- показники розкиду, що описують ступінь розкиду даних щодо центральної тенденції; до них відносяться: вибіркова дисперсія, різниця між мінімальним і максимальним елементами (розмах, інтервал вибірки) та інше;

- показники асиметрії: положення медіани щодо середнього та інше;

- графічні представлення результатів: гістограма, частотна діаграма, картограм урожайності та інше.

Як показують результати експериментальних досліджень, звичайні цифрові фотокамери можна ефективно використовувати при прогнозуванні врожаю та визначенні різних перешкод на шляху руху БЗТ на кожній ділянці поля. Після проведення фотозйомки на електронній карті поля на основі статистичної обробки RGB-сигналів визначається декілька контрастних за оптичними характеристиками зон (ділянок).



Рис. 4. Контрольні обсяги урожаю для навчання нейронної мережі.

Для кожної із цих зон (рис. 4, ділянки 1 – 5) вимірюються контрольні обсяги урожаю [1], ці дані використовуються для навчання нейронної мережі.



Рис. 5. Алгоритм визначення картограм урожайності за даними з БПЛА.

На основі статистичної обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості та за допомогою апарату нейронних мереж визначаються картограми урожайності на шляху руху безпілотних комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішень для розподілу, планування маршрутів та керування рухом збиральної техніки при мінімальних вартісних (порівняно з космічними зйомками) витратах. Для обробки графічних даних за результатами фотозйомки з БПЛА використовується

спеціальне програмне забезпечення НУБІП LDE [6]. Алгоритми та програми Land damage expert мають можливість на основі статистичної обробки RGB сигналів визначати координати перешкод для БЗТ на електронній карті місцевості та картограм урожайності (рис. 5).

На рис. 5 у блоці 1 забезпечується введення вхідних даних у вигляді опорних точок маршруту польоту БПЛА як показано на рис. 6 (точки 1-8).

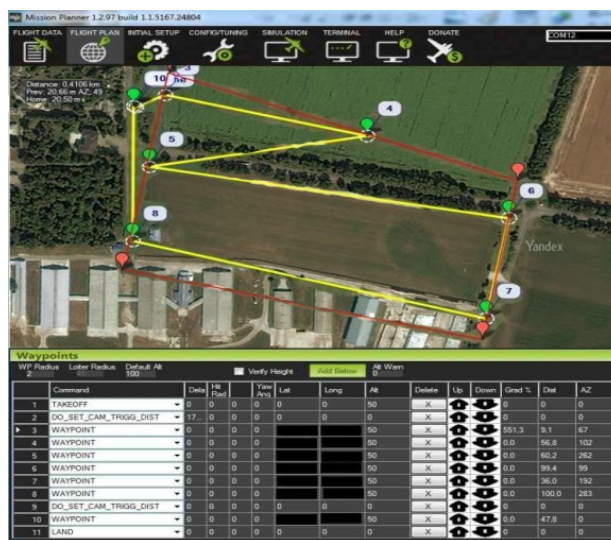


Рис. 6. Задання контрольних точок польоту БПЛА.

У блоці 2 відбувається виведення БПЛА на задану висоту зйомки (100-120м) над заданим районом поля. В якості БПЛА застосовувалися квадрокоптери DJI Phantom 3+ та CD600.

У блоках 3 та 4 здійснюється відео-фото зйомка та обробка графічних даних з використанням нейронної мережі. У результаті реалізації описаного вище алгоритму формуються рекомендації щодо оптимального планування руху та режимів роботи збиральної техніки з урахуванням картограм урожайності, довжини траєкторій руху, об'їзду

пасивних перешкод та місць, де відсутня біомаса з урожаєм.

Як показують результати експериментальних досліджень у ТДВ «Терезине» застосування розробленого алгоритму визначення картограм урожайності за даними з БПЛА дозволило знизити затрати на збиральну кампанію на 12-15 % за рахунок оптимізації таких параметрів і режимів роботи комбайна, як частота обертання молотильного барабана, кінематичних параметрів функціонування системи очищення, довжини та швидкості руху машини тощо [7].

Висновок

Таким чином, на основі використання розроблених методичних основ визначення стану та картограм урожайності і перешкод за допомогою БПЛА на шляху руху безпілотної збиральної техніки забезпечується зниження затрат на збиральну кампанію за рахунок оптимізації параметрів та режимів роботи комбайнів.

Список літератури

1. Ачасов А. Б., Ачасова А. О., Титенко Г. В., Селиверстов О. Ю., Седов А. О. Щодо використання БПЛА для оцінки стану посівів. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія». 2015. Вип. 13. С. 13–18.

2. Аніскевич Л. В., Адамчук В. І. Технології точного землеробства. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ. 2006. № 101. С. 8–27.

3. Рулев А. С., Канищев С. Н., Шинкаренко С. С. Анализ сезонной динамики NDVI естественной растительности Заволжья Волгоградской области. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 113–123.

4. Лисенко В. П., Комарчук Д. С., Пасічник Н. А., Опришко О. О. Дистанційне зондування зернових культур для програмування врожаю. Київ. ТОВ «ЦП Компрінт». 2017. 362 с.

5. Shadchina T. M. Elaboration of theoretical bases and methods of the remote sensing of winter wheat crops using the high resolution spectrometry. Manuscript. Thesis for Dr.Sci (Biol.) by speciality 03.00.12-Plant Physiology.-Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. 1999.

6. Шворов С. А., Чирченко Д. В. Метод планування робіт по збору врожаю безпілотними комбайнами. Енергетика і автоматика. 2017. № 1. С. 28–36. http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2017_1_5.

7. Шворов С. А., Комарчук Д. С., Лукін В. Є., Чирченко Д. В. Метод планування маршрутів руху безпілотної збиральної техніки із застосуванням безпілотних літальних апаратів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 261. С. 104–111.

References

1. Akashov, A. B., Akshova, A. O., Titenko, G. V., Seliverstov, O. Yu., Sedov A. O. (2015). Concerning the use of UAVs for assessing the state of crops Use of UAVs to assess the state of crops. Vestnik VN KhNU Karazin, series "Ecology". Vip. 13, 13-18.

2. Aniskevich, L. V., Adamchuk, V. I. (2006). Precision Agriculture Technologies. Precise farming is a prospect for increasing yields. Scientific Bulletin of the National Agrarian University. No 101, 8-27.

3. Rulev, A. S., Kanishchev, Rulev, S. N., Shinkarenko, S. S. (2016). Analysis of the seasonal dynamics of NDVI in natural vegetation in the Transvolga region of the Volgograd Region. The analysis of seasonal dynamics of NDVI of natural vegetation is presented. Modern Problems of Earth Remote Sensing from Space. T. 13, No 4, 113-123.

4. Lisenko, V. P., Komarchuk, D. S., Pasichnik, N. A., Oprishko, O. O. (2017). Remote sensing of grain crops for harvest programming [monograph on remote sensing of grain crops for harvest programming] TOV "CP COMPRINT", 2017, 362.

5. Shadchina, T. M. (1999). Elaboration of theoretical bases and methods of the remote sensing of winter wheat crops using the high resolution spectrometry. Manuscript. Thesis for Dr.Sci (Biol.) by speciality 03.00.12-Plant Physiology.-Institute of Plant Physiology and Genetics. National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv.

6. Shvorov, S. A., Chirchenko, D. V. (2017). The method of planning for robots in the wild by virgin drone combines. A method for planning work for unmanned combines has been developed. Energy and automation. № 1, 28-36.

7. Shvorov, S. A., Komarchuk, D. S., Lukin, V. E., Chirchenko, D. V. (2017). The method of planning routes for unmanned harvest vehicles with the use of unmanned aerial vehicles. A method for planning work for unmanned combines. Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine. Series: Engineering and Power Engineering of Agroindustrial Complex. Vol. 261. 104-111.

УТОЧНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И ОБЪЕМОВ УРОЖАЯ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С. А. Шворов, Н. А. Пасічник, О. О. Опришко,
Д. С. Комарчук, К. В. Ковтун

Аннотация. Для уточнения состояния урожая и формирования картограм урожайности предложено использовать систему технического зрения на базе беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Видеоинформация, которая принимается системой технического зрения БПЛА, передается в базу данных геоинформационной системы (ГИС). С помощью специального математического и программного обеспечения рассчитываются и отображаются на электронной карте картограммы урожайности для каждого участка местности. Показано, что использование систем технического зрения на базе беспилотного летательного аппарата позволяет повысить эффективность планирования маршрутов

беспилотной уборочной техники (БУТ) с учетом особенностей участков местности и различных препятствий на пути движения БУТ. Рассмотрены возможности применения специального программного обеспечения производства НУБиП Land damage expert для определения состояния и объемов урожая на основе данных, полученных с беспилотного летательного аппарата. Описаны принципы использования и обработки навигационной и зрительной информации при решении основных задач планирования движения уборочной техники и полета беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: беспилотная уборочная техника, система технического зрения, картограммы урожайности, геоинформационная система, беспилотный летательный аппарат, специальное программное обеспечение.

DETERMINATION OF STATE AND OILS I CALL FOR THANKS SAFE LITTLE APPARATUS

*Shvovor S. A., Pasichnik N. A., Opryshko O. O.,
Komarchuk D. S., Kovtun K. V.*

Abstract. To clarify the state of the crop and the formation of crop yield cartograms, it was proposed to use a vision system based on an unmanned aerial vehicle (UAV). The video information, which is accepted by the UAV's technical vision system, is transferred to the geographic information system (GIS) database. With the help of special mathematical and software, yield maps for each site are calculated and displayed on an electronic map of the area. It is shown that the use of vision systems on the basis of an unmanned aerial vehicle makes it possible to increase the efficiency of planning the routes of unmanned harvesting equipment (UHE), taking into account the features of the terrain and various obstacles in the way of UHE traffic. The possibilities of using special software for the production of the LDE - Land damage expert for determining the state and volumes of the crop on the basis of data obtained from an unmanned aerial vehicle are considered. The principles of using and processing navigation and visual information in solving the main tasks of planning the movement of harvesting equipment and the flight of an unmanned aerial vehicle are described.

Key words: unmanned harvesting equipment; system of technical vision; cartograms of productivity, geoinformation system, unmanned aerial vehicle, special software.