4. Liu L., Yang F., Liu X., Du Y., Li X., Li G., Chen D., Zhu Z., Song Z. A review of the current status and common key technologies for agricultural field robots. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 227. 109630. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109630.

5. Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*. 2016. Vol. 149. P. 94–111. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014.

Abstract: *The prospects of using mobile robotic platforms in mechanized grain crop cultivation technologies are examined. Key requirements for the running gear, navigation systems, sensor equipment, and operational implements of autonomous machines are identified. The rationale for integrating robotic platforms with precision farming and adaptive control systems is substantiated. The main directions for the development of autonomous machinery for field production conditions are outlined.*

Keywords: *robotic platform, agricultural robot, autonomous machine, grain crops, precision farming, navigation, mechanized technologies.*

Науковий керівник:

Грубань В.А.

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 631.3:004.932:681.5

КОМП’ЮТЕРНИЙ ЗІР У СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ОРАНКИ

Євгеній БЕЗВЕРХИЙ

Здобувач вищої освіти спеціальності Н7 Агроінженерія

Державний біотехнологічний університет

м. Харків, Україна

Анотація: *Розглянуто можливості застосування комп’ютерного зору для оцінювання стану поверхні ґрунту після оранки. Узагальнено підходи до*

визначення мікрорельєфу, видимої грудкуватості та покриття поверхні рослинними рештками. Запропоновано компонування візуального модуля на орному агрегаті та його поєднання з додатковими датчиками. Визначено обмеження оптичного контролю й вимоги до польової перевірки системи.

Ключові слова: *оранка, якість обробітку ґрунту, комп'ютерний зір, мікрорельєф, рослинні рештки, вимірювальна система*.

Якість оранки характеризується відповідністю фактичного обробітку агротехнічним вимогам щодо глибини, обертання скиби, загортання рослинних решток і стану поверхні поля. Контроль цих показників за допомогою вибіркових вимірювань потребує часу та не завжди охоплює просторову неоднорідність обробленої ділянки. Застосування комп'ютерного зору дає змогу доповнити традиційні методи цифровим оцінюванням видимих ознак поверхні й оперативним інформуванням оператора про можливі відхилення.

Мета роботи – узагальнити можливості комп'ютерного зору для оцінювання якості оранки та визначити вимоги до інтеграції візуального модуля у вимірювальну систему орного агрегату. Робота має оглядовий характер: наведені пропозиції сформовано на основі аналізу публікацій [1-5] та інженерного узагальнення без проведення власних польових випробувань.

Оцінювання мікрорельєфу поверхні ґрунту. Одним із напрямів використання комп'ютерного зору є визначення геометричних характеристик поверхні після проходу плуга. Звичайна RGB-камера реєструє колір і текстуру ґрунту, проте без додаткових геометричних даних не забезпечує однозначного вимірювання висоти нерівностей. Для розв'язання цього завдання можна застосовувати стереозір, який передбачає отримання зображень однієї ділянки з двох позицій.

У дослідженні Azizi та співавторів [1] стереозображення використано для відновлення просторової геометрії поверхні ґрунту після різних способів обробітку. Після калібрування камер і зіставлення відповідних точок формується карта глибини, за якою можна будувати профілі поверхні та визначати характеристики її нерівностей.

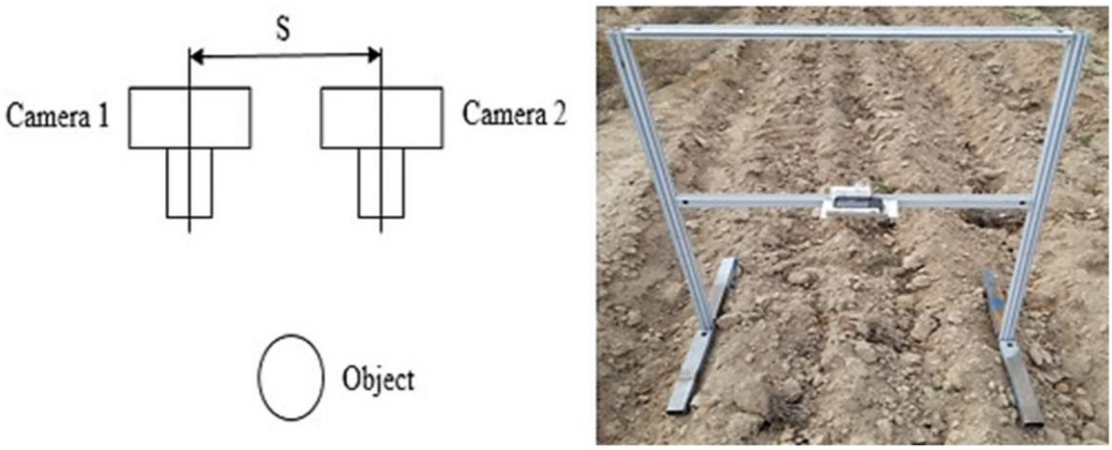


Рис. 1. Схема стереознімання та польова установка

Для оцінювання результатів оранки доцільно аналізувати висоту гребенів, відстань між ними та повторюваність профілю в межах контрольованої смуги. При цьому необхідно відокремлювати загальний ухил поля від нерівностей, утворених робочими органами. Приклад зіставлення зображення зораної поверхні з профілем висот наведено на рис. 2.

Гребенистість слід оцінювати відповідно до призначення оранки, властивостей ґрунту та наступних технологічних операцій. Мінімальна нерівність поверхні не є універсальною ознакою якісного обробітку. Крім того, однакова висота гребенів не доводить однакової глибини роботи корпусів плуга, оскільки видимий рельєф формується внаслідок переміщення, обертання та руйнування скиби.

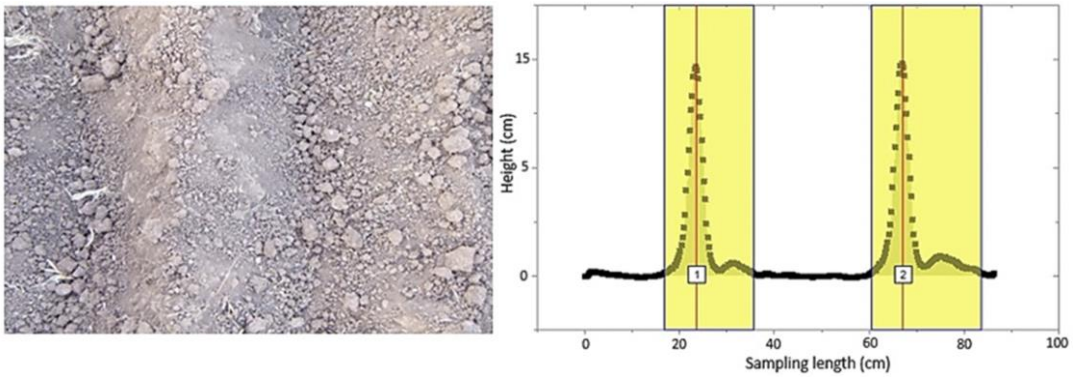


Рис. 2. Зображення зораного ґрунту та виділення гребенів за профілем висот

Визначення видимої грудкуватості. Аналіз цифрових зображень дає змогу виділяти відкриті ґрунтові грудки, оцінювати їхні проєкційні розміри та частку великих фрагментів на поверхні. Fanigliulo та співавтори [2] досліджували використання зображень із легкого безпілотного літального апарата та

тривимірної реконструкції для оцінювання показників якості обробітку ґрунту, порівнюючи їх із профілометрією та ситовим аналізом.

Для системи, встановленої на плузі, такий підхід можна розглядати як засіб виявлення ділянок із підвищеною часткою великих видимих грудок. Однак для визначення фізичних розмірів об’єктів потрібні масштабування зображення та врахування перспективи. Перекриття грудок, тіні й неоднорідна вологість ґрунту ускладнюють розпізнавання їхніх меж. Тому розподіл видимих розмірів не можна без перевірки ототожнювати з масовим розподілом ґрунтових агрегатів у всьому обробленому шарі.

Контроль поверхневих рослинних решток. Іншим показником є частка поверхні, вкрита рослинними рештками. Її можна визначати шляхом сегментації зображення на ділянки ґрунту та решток із подальшим розрахунком співвідношення їхніх площ. Можливість такого оцінювання за RGB-зображеннями показано Ribeiro та співавторами [3].

Виявлення огріхів і локальних відхилень. На основі аналізу текстури та геометрії поверхні пропонується розпізнавати смуги необробленого ґрунту, порушення послідовності борозен і локальні скупчення рослинних решток. Для цього необхідно сформувати набір зображень із розміченими прикладами належного обробітку та характерних дефектів. Система повинна враховувати, що зміна кольору або текстури може бути спричинена природною неоднорідністю ґрунту, а не порушенням технологічного процесу.

Результат такого аналізу доцільно подавати оператору як попередження із зображенням підозрілої ділянки та її координатами. Використання просторово прив’язаних даних узгоджується з розглянутими підходами [4] до інтелектуальних інформаційних систем у сільському господарстві. У запропонованій системі координатна прив’язка може забезпечувати накопичення інформації про розташування виявлених відхилень для подальшого огляду поля.

Інтеграція візуального модуля в орний агрегат. Для практичної реалізації пропонується встановлювати камеру або стереопару позаду останнього корпусу

плуга. Поле огляду має охоплювати контрольовану смугу після завершення переміщення ґрунту робочими органами. Кріплення повинно забезпечувати стабільність положення камер, можливість калібрування та захист від механічних пошкоджень. Для оборотного плуга необхідно враховувати зміну робочого положення після обертання рами. Обов'язковими конструктивними елементами є захист оптики від забруднення та доступ для її очищення.

Висновки. Комп'ютерний зір є перспективним засобом доповнення традиційного контролю якості оранки. Найбільш обґрунтованими напрямами його застосування є оцінювання мікрорельєфу, видимої грудкуватості та покриття поверхні рослинними рештками. Розпізнавання огріхів потребує спеціально підготовлених даних і польової перевірки. Поєднання камер із додатковими датчиками та координатною прив'язкою може розширити інформаційне забезпечення оператора. Практичне використання системи потребує калібрування, захисту оптики й установлення критеріїв оцінювання відповідно до конкретних агротехнічних умов.

Список використаних джерел

1. Azizi A., Abbaspour-Gilandeh Y., Mesri-Gundoshmian T., Farooque A. A., Afzaal H. Estimation of Soil Surface Roughness Using Stereo Vision Approach. Sensors. 2021. Vol. 21(13). 4386. DOI: 10.3390/s21134386.

2. Fanigliulo R., Antonucci F., Figorilli S. et al. Light Drone-Based Application to Assess Soil Tillage Quality Parameters. Sensors. 2020. Vol. 20(3). 728. DOI: 10.3390/s20030728.

3. Ribeiro A., Ranz J., Burgos-Artizzu X. P. et al. An Image Segmentation Based on a Genetic Algorithm for Determining Soil Coverage by Crop Residues. Sensors. 2011. Vol. 11(6). P. 6480–6492. DOI: 10.3390/s110606480.

4. Антощенков Р. В., Галич І. В., Мікла І. А., Козлов О. С., Сизько А. А. Інтелектуальні інформаційні системи у сільському господарстві. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2019. Вип. 199. С. 205-212.

5. Антощенков Р. В., Галич І. В., Корсун А. О., Тюпа Д. В., Колодяжний І.

О. Вимірювальна система динаміки та енергетики мобільних машин. *Сучасні проблеми взаємозамінності та стандартизації у машинобудуванні*: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і здобувачів вищої освіти (м. Миколаїв, 24-26 квітня 2019 р.). Миколаїв: МНАУ, 2019. С. 46–57.

Abstract. *The paper reviews the potential of computer vision for assessing soil surface conditions after ploughing. Approaches to measuring surface microrelief, visible soil clods and crop residue cover are discussed. A vision module mounted on a ploughing unit and integrated with additional sensors is proposed. The limitations of optical assessment and requirements for field validation are outlined.*

Keywords: *ploughing, soil tillage quality, computer vision, stereo vision, microrelief, crop residues, measurement system.*

Науковий керівник:

Дьяконов С. О.

Канд. техн. наук, доцент

Державний біотехнологічний університет

УДК 631.3:004.932:681.5

КОМП’ЮТЕРНИЙ ЗІР У КЕРУВАННІ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Юрій КРИВОРУЧКО

Здобувач вищої освіти спеціальності Н7 Агроінженерія

Державний біотехнологічний університет

м. Харків, Україна

Анотація. *Розглянуто застосування комп’ютерного зору для керування робочими органами сільськогосподарських машин. На прикладах міжрядного культиватора, обприскувача та роботизованого збирача визначено вимоги до розташування камер, виконавчих механізмів і синхронізації їхньої роботи. Обґрунтовано необхідність урахування швидкості руху, затримки керування та похибок позиціювання під час конструювання машин.*

Ключові слова: *комп’ютерний зір, робочі органи, автоматизація,*