

Пахучий А. М.,
Дьяконов С. О.
Державний
біотехнологічний
університет, м. Харків,
Україна
E-mail:
andreyi09773@gmail.com

АНАЛІЗ СИСТЕМ КОПЮВАННЯ
ПОВЕРХНІ ПОЛЯ В КОНСТРУКЦІЯХ
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИНАХ

DOI: <https://doi.org/10.31359/2311-441X-2025-26-102-110>

УДК 631.35, 681.52

Пахучий А.М., Дьяконов С.О. Аналіз систем копіювання поверхні поля в конструкціях зернозбиральних сільськогосподарських машинах.

Анотація. У цій роботі надано пояснення, описано принцип дії та визначено головне призначення систем, що забезпечують копіювання поверхні поля збиральними сільськогосподарськими машинами. Здійснено аналіз існуючих механізмів балансування та систем копіювання, застосовуваних у конструкціях сільськогосподарських машин для збирання врожаю, з акцентом на їх сильних і слабких сторонах. За результатами аналізу різних конструкцій систем копіювання запропоновано їхню класифікацію та роз'яснено, як вони структурно пов'язані між собою, що дозволяє дати загальну характеристику цим системам.

Ключові слова: комбайн, жниварка, висота зрізу, копіювання рельєфу, механічні системи копіювання, гідравлічні системи копіювання, автоматичні системи копіювання, сільськогосподарська машина.

Pakhuchyi A.M., Diakonov S.O. Analysis of field surface copying systems in designs of grain harvesting agricultural machines.

Abstract. This work provides an explanation, describes the principle of operation and determines the main purpose of systems that provide the surface of the field with harvesting agricultural machines. The analysis of existing balancing mechanisms and copying systems used in agricultural structures for harvesting has been analyzed, with an emphasis on their strengths and weaknesses. According to the results of the analysis of different designs of copying systems, their classification is proposed and explained how they are structurally related, which allows to give a general characteristic of these systems.

Key words combine, harvester, cut height, relief copy, mechanical copying systems, hydraulic copying systems, automatic copying systems, agricultural machine.

Постановка проблеми

Сільськогосподарські машини для збирання врожаю це вид техніки, основне завдання якої полягає у збиранні та первинній обробці продукції сільського господарства. Для ефективного збирання та подальшої передачі зібраної маси в технологічний ланцюг, ці машини оснащуються різноманітними пристроями, такими як зернові, трав'яні жниварки, валкові жниварки, роторні косарки, підбирачі тощо.

Процес збирання за допомогою адаптерів, встановлених на зернозбиральних або кормозбиральних машинах, відбувається таким чином: стебла рослин потрапляють до

ріжучого механізму жниварки, зрізаються і транспортуються шнеком або стрічкою до центру жниварки. Потім зрізана маса підхоплюється та переміщується до вихідного отвору жниварки, звідки вона направляється або на поле для просушування у вигляді валка, або в технологічний тракт комбайна (похила камера або живильно-подрібнювальний пристрій) для подальшої обробки.

Для забезпечення якісного збирання врожаю з мінімальними втратами важливо підтримувати задану висоту зрізу відносно поверхні поля. Оскільки поверхня поля не є рівною, необхідно, щоб адаптер мав можливість копіювати її рельєф. Це досягається за допомогою систем копіювання рельєфу, що забезпечують безперервне та ефективне виконання процесу збирання з мінімальними втратами. Цей аспект є критично важливим при розробці, модернізації та підвищенні ефективності систем копіювання, що використовуються в сільськогосподарських збиральних машинах.

Варто зазначити, що в умовах жорстких обмежень як за часом, так і за фінансовими засобами, при проектуванні нових збиральних машин і комбайнів використання систем копіювання певного типу характеризується досвідом застосування таких систем у моделях минулих років. Тому складається ситуація, за якої в межах модельного ряду на нових машинах рідко використовуються кардинально нові системи копіювання. Це пов'язано з тим, що проектуванням одного типу збиральних машин займається один робочий колектив, а іншого типу машин – інший колектив, не пов'язаний з першим. Часто спрацьовує установка, що при проектуванні доцільно використовувати таку систему, яка раніше зарекомендувала себе непогано. Це призводить до того, що в нових енергонасичених самохідних збиральних машинах із широкою лінійкою різноманітних (як за габаритами, так і за масою) адаптерів часом доводиться стикатися з погіршенням якості роботи систем копіювання, які спочатку були призначені лише для певного типу адаптерів. Як підсумок – необхідність шукати компромісні варіанти для модернізації таких систем.

Для пошуку найефективніших рішень виникає необхідність в упорядкуванні інформації щодо конструкцій різноманітних систем копіювання поверхні поля, що використовуються в різних збиральних машинах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У різних навчальних посібниках, як правило, подається описова частина загальної конструкції збиральних машин і комбайнів, у яких наявність у їх складі систем копіювання подається або як факт [1], або як витяг з інструкцій з експлуатації [2, 3], або як збірний опис принципу роботи механічної та автоматичної систем копіювання [4]. При цьому на сьогодні існує безліч різноманітних систем копіювання, дослідження яких наводиться лише у вузькоспеціалізованих публікаціях за заданою тематикою. Наприклад, у публікаціях [5, 6] описано автоматичні системи копіювання, що застосовуються на деяких комбайнах і косарках. У публікаціях [7, 8] наводиться опис систем з безконтактним типом копіювання. У публікації [9] пропонується використовувати систему, названу авторами пристроєм для автоматичного копіювання рельєфу поля, що використовується для зернозбирального комбайна. І це лише мала частина подібних робіт, у яких описуються різні механізми та системи, що виконують по суті одну функцію – підтримання сталості висоти розташування робочого органу відносно поверхні поля.

Аналіз конструкцій систем копіювання показує, що підтримання висоти розташування робочих органів відносно поверхні поля виконується різними механізмами та способами, серед яких зустрічаються як різнорідні елементи конструкції, що виконують однакову функцію, так і конструктивно схожі між собою,

але виконують різну роль. Зі сказаного випливає необхідність структурування та класифікації систем копіювання рельєфу поля.

Формулювання мети досліджень

Метою даної роботи є виконати аналіз систем копіювання поверхні поля в конструкціях зернозбиральних сільськогосподарських машинах.

Результати досліджень

Усі існуючі системи копіювання рельєфу сільськогосподарських полів можна умовно класифікувати на три основні категорії: пасивні, активні та гібридні. Цей поділ ґрунтується на принципах функціонування системи, наявності або відсутності керування та рівні адаптивності до змін рельєфу.

До пасивних відносяться такі системи, які не передбачають активного регулювання робочих параметрів під час виконання польових робіт. Їх налаштування виконується один раз перед початком роботи, і в подальшому ці параметри залишаються незмінними, незалежно від змін у рельєфі чи умовах навколишнього середовища. Пасивні системи можуть бути реалізовані в різних конструктивних варіантах: Механічні системи – з використанням пружинно-важільних пристроїв; гідропневматичні системи – з замкненим контуром типу «гідроциліндр – пневмогідроакумулятор» (ГЦ–ПГА). У таких системах пневмогідроакумулятор спільно з гідроциліндром виконує функцію пружного компенсатора, що забезпечує певну ступінь плавності ходу та амортизації навантажень.

Під час роботи сільськогосподарської техніки, зокрема в період збирання врожаю, поверхня поля зазнає змін у двох напрямках – повздовжньому (вдоль напрямку руху машини) та поперечному (перпендикулярно до руху). Це вимагає від систем копіювання здатності відстежувати рельєф у відповідній площині. Залежно від характеру руху та способу копіювання, системи поділяють на: системи з повздовжнім копіюванням; системи з поперечним копіюванням; універсальні системи, які забезпечують копіювання одночасно в обох площинах.

Найчастіше у пасивних системах застосовують останній тип – повздовжньо-поперечне копіювання, що реалізується через пружинно-важільні механізми. Подібні конструкції широко використовуються у самохідних косарках, де ліве та праве підвішування ріжучого апарата функціонують незалежно одне від одного. Така конструктивна особливість забезпечує кращу адаптацію до змін рельєфу.

Аналогічні системи були впроваджені у вітчизняних зернозбиральних комбайнах, таких як «Славутич» КЗС-9-1, де пружинні механізми забезпечували ефективне копіювання рельєфу без необхідності автоматичного регулювання (рис. 1).

Однією з характерних особливостей механізмів копіювання у конструкції зернозбиральних комбайнів є використання взаємозв'язаних нижніх важелів, виконаних у вигляді П-подібної рамки. Ця рамка фіксується до корпусу похилої камери за допомогою одного сферичного шарніра, що забезпечує можливість відносного руху механізму в кількох площинах.

У подібних конструкціях пружинні блоки виконують подвійну функцію — вони забезпечують зрівноважування як у повздовжньому, так і в поперечному напрямках. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість елементів у конструкції та спростити загальну компоновку. Однак, попри очевидні переваги подібної схеми, вона має й низку суттєвих недоліків: високі втрати на гістерезис, що призводить до енергетичних втрат при зміні навантаження; складність у досягненні стабільної характеристики

реакції опорного елемента (башмака) у повному діапазоні копіювання — як у продовжній, так і в поперечній площинах; взаємний вплив параметрів лівої та правої сторони механізму, що ускладнює точне налаштування.

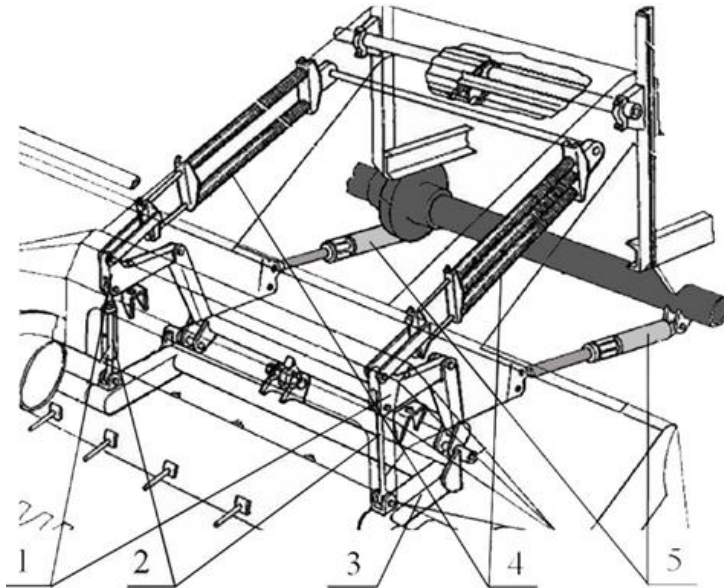


Рис. 1. Система зрівноваження комбайнів: 1 – верхній важіль; 2 – розкис (підвіска); 3 – нижній важіль; 4 – пружинні блоки; 5 – гідроциліндри підйому (опускання).

Для комбайнів великої потужності — ускладнення в процесі агрегування із жниварками та іншими навісними адаптерами. У новітніх моделях зернозбиральних комбайнів, де застосовуються пружинно-важільні копіювальні механізми, зазвичай практикується розділення функцій повздовжнього та поперечного копіювання (рис. 2). Це дозволяє досягти більшої точності та надійності. Для реалізації такого поділу використовується перехідна рама 8, до якої кріпиться адаптер жниварки. Вісь обертання в повздовжньому напрямку 3, що дозволяє нахилити адаптер вперед-назад відносно похилої камери 4. Вісь обертання в поперечному напрямку 1 – для можливості бокового копіювання. У конструкцію входять два окремі пружинні блоки — кожен зі своїми характеристиками, тягами 2 та важелями 5. Це рішення дозволяє чітко розділити навантаження і функції, забезпечити точну адаптацію жниварки до рельєфу поля в обох напрямках, мінімізувати взаємний вплив одного напрямку копіювання на інший.

Запровадження двох окремих механізмів для повздовжнього та поперечного копіювання замість єдиного універсального дозволило суттєво спростити процес агрегування жниварки з комбайном. Це конструктивне рішення також значно скоротило час, необхідний для підготовчих і завершальних операцій, зокрема налаштування системи копіювання перед початком роботи та її демонтажу після завершення.

Для забезпечення ефективної роботи обох механізмів у парі, критично важливим є правильний розподіл залишкових сил реакції, що діють на опорні елементи (башмаки). Сила реакції на башмак від повздовжнього механізму копіювання повинна перевищувати відповідну силу від поперечного механізму по всьому діапазону висот рельєфу. У такому випадку, коли крайній башмак жниварки натрапляє на нерівність, відпрацювання рельєфу відбувається переважно в поперечному напрямку, забезпечуючи точне копіювання. Якщо ж навпаки – залишкова сила реакції повздовжнього механізму менша, ніж у поперечного, адаптер жниварки не адаптується

локально, а «вспливає» по всій ширині у повздовжньому напрямку. Це призводить до втрат по висоті зрізу на всій ширині жнивarki, що знижує якість збирання врожаю. Щоб зменшити взаємний вплив двох механізмів один на одного, їх розміщують у різних площинах відносно корпусу похилої камери. Це дозволяє забезпечити автономність роботи кожного з механізмів, підвищити точність копіювання та полегшити технічне обслуговування.

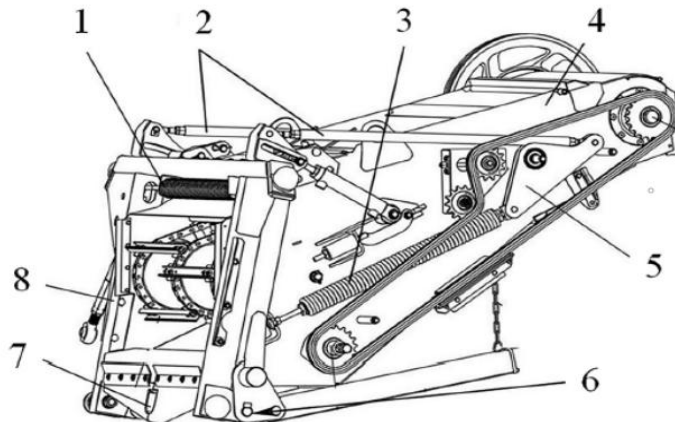


Рис. 2. Пружинно-важільні механізми врівноваження комбайнів:

- 1 – блок пружин поперечного врівноваження; 2 – тяга; 3 – блок пружин поздовжнього врівноваження; 4 – рама похилої камери; 5 – двоплечовий важіль; 6 – вісь качання рамки; 7 – вісь качання жнивarki; 8 – рамка перехідна.

У деяких моделях комбайнів компанії Case механізми поздовжнього копіювання розташовані в горизонтальній площині над похилою камерою. Водночас механізми поперечного врівноваження встановлюються з боків похилої камери.

У зв'язку з цим, за розміщенням пружинно-важільних механізмів щодо приймального пристрою збиральної сільськогосподарської машини – незалежно від того, чи йдеться про похилу камеру (НК), подаюче-подрібнювальний апарат (ППА) або навішування – можна відокремити механізми копіювання з боковим (у вертикальній площині), фронтальним (спереду) або горизонтальним (верхнім/нижнім) розташуванням.

Багаторічний досвід експлуатації збиральної сільськогосподарської техніки свідчить, що пружинно-важільні механізми копіювання вирізняються конструктивною простотою, зручністю в ремонті та добре показали себе на полях з незначною нерівністю рельєфу. Однак на ефективність їхньої роботи істотно впливає великий статистичний розкид висот нерівностей навіть у межах одного поля. Це пов'язано з конструктивними особливостями таких механізмів. При перевищенні робочого діапазону вгору різко зростає навантаження на башмаки, що призводить до ефекту «бульдозерування», надмірного ущільнення або руйнування верхнього шару ґрунту, а також потрапляння ґрунту разом із рослинною масою. При виході нижче робочого діапазону адаптер зависає, що спричиняє втрати через підвищення зрізу. Крім того, можливе виникнення ефекту «галопування», що погіршує якість зрізу. До недоліків пружинно-важільних механізмів також належить необхідність використання суттєво різних геометричних параметрів важелів і тяг для різних вагових категорій адаптерів (залежно від розташування центра мас і загальної ваги). Це ускладнює компонування і налаштування механізму, особливо якщо він розміщений, наприклад, у верхній частині похилої камери зернозбирального комбайна, через вимоги до оглядовості основних

робочих органів з кабіни. Також це не дозволяє застосувати принцип уніфікації систем для ефективного копіювання всього модельного ряду адаптерів.

Наступною групою пасивних систем копіювання є гідропневматичні системи копіювання, що працюють на основі замкненого контуру «гідроциліндр – пневмогідроакумулятор (ПГА)». Такі системи набули широкого поширення на самохідних кормозбиральних комбайнах. Схематичний приклад подібної системи наведено на Рис. 3. Подібні схеми застосовуються і в зернозбиральних комбайнах деяких виробників. У таких механізмах як пружний елемент замість звичайних пружин використовуються гідроциліндри, з'єднані з пневмогідроакумуляторами.

Основний принцип роботи полягає в тому, що адаптер жорстко з'єднаний із подаюче-подрібнювальним апаратом (ППА) і повторює рельєф поля шляхом коливання разом із ППА навколо шарніра, розташованого на осі обертання вала подрібнювального барабана. Така схема набула широкого застосування в кормозбиральних комбайнах, оскільки дозволяє сформувати постійну зону переходу технологічної маси з адаптера до подаючого апарата в поздовжньому напрямку. Ця зона є критично важливою для стабільного процесу підпресування та подальшого подрібнення маси, що надходить.

У пасивних гідропневматичних системах ті самі гідроциліндри, які використовуються для підйому адаптера та переведення його в транспортне положення, також служать для розвантаження опорних елементів адаптера. Це забезпечує першу вагому перевагу таких систем – відсутність потреби у двох виконавчих елементах. Один встановлений гідроциліндр виконує обидві функції: розвантаження адаптера під час роботи в діапазоні копіювання та підйом у транспортне положення.

Другою перевагою є здатність системи «гідроциліндр – пневмогідроакумулятор» діяти як пружний елемент, що дає змогу підбирати необхідну характеристику зміни реакції на опорних елементах адаптера.

Втім, розробку гідропневматичних систем стримують обмеження, пов'язані з розміщенням гідроциліндрів у межах конструкції комбайна через необхідність дотримання кліренсу або використання стандартних типорозмірів циліндрів. З одного боку, для максимально ефективної роботи системи врівноваження в робочому режимі потрібно досягти підвищеного тиску в замкнутому контурі «ГЦ – ПГА», що забезпечується або використанням гідроциліндрів з меншим діаметром, або зменшенням плеча їх кріплення в робочому діапазоні поздовжнього копіювання. З іншого боку, для забезпечення максимальної висоти підйому адаптера в транспортне положення необхідне зниження робочого тиску — шляхом застосування гідроциліндрів більшого діаметра або встановленням їх на більшу відстань (плече). У результаті, в першому випадку збільшення робочого тиску не завжди забезпечує підйом найважчих адаптерів, а в другому – не досягається належна якість копіювання.

Незважаючи на універсальність гідропневматичного механізму копіювання, який дозволяє налаштувати його для роботи з адаптерами різних типів і вагових категорій, він, як і пружинно-важільні механізми, має обмежений діапазон ефективної роботи по висоті рельєфу поля. Система з замкненим контуром «гідроциліндр — пневмогідроакумулятор» характеризується значною інерційністю та затримкою реакції при роботі на високих швидкостях, що не дозволяє підтримувати належну якість технологічних операцій за умов значних кінематичних збурень.

Різкі зміни висоти поверхні поля, наприклад, через купини, призводять до раптового зростання навантаження на опорний башмак, що залежно від типу ґрунту може спричинити ефект "бульдозерування" або ударний вплив з наступним підняттям адаптера і його уповільненим опусканням. Це призводить до нестабільного утримання висоти зрізу та пов'язаних із цим втрат.

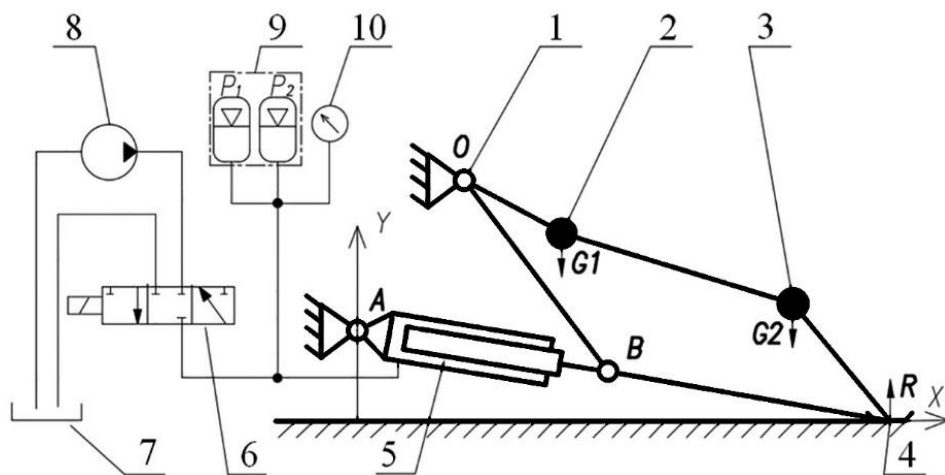


Рис. 3. Принципова схема системи копіювання гідропневматичного типу:
1 – вісь коливання ППА разом з адаптером; 2 – точка $G1$ – центр мас ППА; 3 – точка $G2$ – центр мас адаптера; 4 – точка R – опорний елемент адаптера; 5 – гідроциліндр; 6 – гідророзподільник; 7 – гідробак; 8 – гідронасос; 9 – блок пневмогідроаккумуляторів (ПГА); 10 – датчик тиску

Ще одним суттєвим недоліком пасивних гідропневматичних систем є значні гістерезисні втрати, які обумовлені характеристиками виконавчих елементів системи і помітно впливають на точність копіювання.

Наступним етапом розвитку стали активні системи копіювання, що забезпечують адаптерам самохідної сільськогосподарської техніки можливість точно повторювати рельєф поля. Їх можна вважати вдосконаленою формою пасивних гідропневматичних систем. У пасивних системах контроль за зміною висоти здійснює опорний елемент (коесо або башмак), який контактує з ґрунтом і сприймає частину ваги адаптера. Але така схема має обмежену ефективність через згадані вище недоліки.

Для їх усунення в конструкції гідропневматичних систем почали застосовувати додаткові елементи та блоки керування, які дозволяють не лише фіксувати зміни рельєфу, а й активно реагувати на них. До таких систем додають сенсори, датчики, електронні блоки аналізу вхідних сигналів, що дозволяє регулювати роботу системи за заданими алгоритмами. Ці технології дістали назву активних або автоматичних систем копіювання, які працюють на основі принципу слідкуючого гідроприводу.

Впровадження таких систем у конструкцію зернозбиральних комбайнів забезпечило переваги над механічними системами балансування. У механічних пружинно-важільних системах пружини частково компенсують лише вагу жниварки, тому виникає потреба у з'єднанні жниварки з похилою камерою через шарнір, що забезпечує її коливання. Це веде до зміни взаємного розташування приймальних вікон жниварки та похилої камери, що потребує ефективного ущільнення для запобігання втратам зерна. Попри застосування ущільнень, змінна відстань між транспортувальними елементами жниварки та похилої камери, а також коливання кута між їхніми днищами спричиняють нерівномірну подачу маси у молотильний апарат, що своєю чергою веде до частих збоїв технологічного процесу (забивання, заклинювання), зниження продуктивності та погіршення якісних показників.

Саме тому використання стаціонарної зони в поздовжньому напрямку між вікнами жниварки і похилою камерою дозволило стабілізувати технологічний процес, спростити конструкцію і зменшити втрати.

Обговорення

Логічним кроком для вирішення вищезазначених проблем, притаманних активним автоматичним системам копіювання, є поєднання швидкодії пружинно-важільних механізмів із перевагами активних систем. Такий підхід реалізовано в комбінованих гібридних системах, де в межах невеликого діапазону копіювання (мікрорельєфу) основну роль виконує механічна система, а при виході за його межі (макрорельєф) в роботу включається активна електрогідрравлічна система.

Зазвичай саме електрогідрравлічна система відповідає за переведення механічного пристрою в нову робочу зону на рівні макрорельєфу. Теоретично такий підхід частково усуває один із недоліків активних систем – повільне опускання адаптера, характерне для копіювання, реалізованого за електрогідрравлічною схемою.

Висновки

1. Проаналізовано різні систем копіювання рельєфу поля, які застосовуються у конструкціях сільськогосподарських збиральних машин, на основі якого можна зробити такі висновки.

2. Пасивні системи копіювання є історично першою групою систем урівноваження. Вони добре зарекомендували себе при роботі в обмеженому діапазоні рельєфу, проте мають низку недоліків. Зокрема, такі системи не здатні автоматично адаптуватися до різких змін висоти поверхні поля. Активні системи копіювання передбачають автоматичне регулювання висоти робочих органів за допомогою різноманітних засобів керування. Вони забезпечують безперервне керування процесом копіювання під час роботи, однак також мають обмеження, зокрема щодо швидкодії на швидкостях понад 6 км/год.

3. Гібридні системи копіювання поєднують переваги пасивних і активних рішень, що дозволяє забезпечити ефективну роботу на вищих швидкостях руху машини. За підсумками аналізу конструкцій систем копіювання запропоновано їхню класифікацію, що дає змогу описати особливості конкретної системи. Запропонована класифікація дозволяє сформулювати загальне уявлення про системи копіювання, що використовуються в збиральній техніці, а також виділити характеристики певної системи та окреслити перспективні напрямки для її вдосконалення.

Список використаних джерел

1. Машини для збирання зернових та технічних культур: посібник (колектив авторів за ред. В. І. Кравчука). Дослідницьке – УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2009. 296 с.

2. Кравчук В. І., Занько М. Д. Дослідження функціональних можливостей комбайна CASE-IH AFS - 8230 при скошуванні і полеглих хлібів. Техніка і технології АПК. 2015 №5. С. 8-13.

3. Кравчук В., Занько М. Зернові жатки сучасних комбайнів: конструкційні особливості та експлуатаційні показники. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України: зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2 2019. Вип. 24 (38). С. 176-185.

4. Geng, A. J., Zhang, M., Zhang, J., Zhang, Z. L., Gao, A., Zheng, J. L. (2020). Design and Experiment of Automatic Control System for Corn Header Height. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 51(S2), P. 118-125.

5. Shukla, P., Mehta, C. R., Agrawal, K. N., Potdar R. (2021). Studies on operational frequencies of controls on self-propelled combine harvesters in India. *Journal of Agricultural Engineering*, Vol. 58, pp. 101-111.

6. Shojaei, K. (2021). Intelligent coordinated control of an autonomous tractor-trailer and a combine harvester. *European Journal of Control*, Vol. 59, pp. 82-98.

7. Mirmahdi, E., Shirazi, O. G. (2021). Installation of suitable sensors for object detection and height control on combine harvester. *SSRG Int. J. Mech. Eng.*, Vol. 8, pp.12-19.

8. Crop harvesting machine with variable header float: pat. US 20200077585 A1 / J.P. Garbald, J.T. Dunn, G.M. Leverick, R.G. Lyons, B.R. Shearer, N.G. Barnett. Publ. date: 12.03.2020.

9. Crop machine with an electronically controlled hydraulic cylinder flotation system: pat. US 10617059 B2 / J.T. Dunn, G.M. Leverick, R.G. Lyons, B.R. Shearer, K.E. Boch. Publ. date: 14.04.2020.

References

1. *Machines for harvesting cereals and industrial crops: a manual* (a team of authors edited by V.I. Kravchuk). Research - UkrNDIPVT them. L. Pogoril. 2009. 296 p.

2. Kravchuk V.I., Zanko M.D. Investigation of the functionality of the Case -IH AFS combine - 8230 when mowing and fallen bread. *APK technique and technology*. 2015 №5. P. 8-13.

3. Kravchuk V., Zanko M. Grain harvesters of modern combines: structural features and performance. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agricultural production of Ukraine: Coll. Sciences. Ave. L. Pogoril. 2 2019. Iss. 24 (38). P. 176-185.

4. Geng, A. J., Zhang, M., Zhang, J., Zhang, Z. L., Gao, A., Zheng, J. L. (2020). Design and Experiment of Automatic Control System for Corn Header Height. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 51(S2), P. 118-125.

5. Shukla, P., Mehta, C. R., Agrawal, K. N., Potdar R. (2021). Studies on operational frequencies of controls on self-propelled combine harvesters in India. *Journal of Agricultural Engineering*, Vol. 58, pp. 101-111. Italy.

6. Shojaei, K. (2021). Intelligent coordinated control of an autonomous tractor-trailer and a combine harvester. *European Journal of Control*, Vol. 59, pp. 82-98. Iran.

7. Mirmahdi, E., Shirazi, O. G. (2021). Installation of suitable sensors for object detection and height control on combine harvester. *SSRG Int. J. Mech. Eng.*, Vol. 8, pp.12-19. India.

8. Crop harvesting machine with variable header float: pat. US 20200077585 A1 / J.P. Garbald, J.T. Dunn, G.M. Leverick, R.G. Lyons, B.R. Shearer, N.G. Barnett. Publ. date: 12.03.2020.

9. Crop machine with an electronically controlled hydraulic cylinder flotation system: pat. US 10617059 B2 / J.T. Dunn, G.M. Leverick, R.G. Lyons, B.R. Shearer, K.E. Boch. Publ. date: 14.04.2020.