

Шаргородський С.А.
к.т.н., доцент

Галанський В.В.
аспірант

*Вінницький національний
аграрний університет*

Комарівський Д.М.
провідний науковий співробітник

*Харківський національний
університет Повітряних
Сил ім. Івана Кожедуба*

Shargorodskiy S.
Ph.D. in Engineering, Associate
Professor

Halanskyi V.
Postgraduate

*Vinnitsia National Agrarian
University*

Komarivskyi D.
research associate

*Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force
University*

УДК 62-82; 62-85; 658.286
DOI: 10.37128/2306-8744-2025-4-8

РОЗРОБКА КОНТРОЛЬНО ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ

У роботі розглянуто актуальну проблему підвищення ефективності та точності польових досліджень ґрунтообробних агрегатів у технології Strip-Till. Сучасні вимоги інтенсивного землеробства передбачають оптимізацію енергетичних витрат та забезпечення стабільності технологічних процесів, що зумовлює потребу у створенні спеціалізованих контрольно-вимірювальних систем. Проведено аналіз останніх досліджень і публікацій, де розглянуто різні конструкції агрегатів та систем автоматичного регулювання глибини обробки, визначено їхні переваги й недоліки. Зокрема, відзначено складність багатокомпонентних систем та обмеженість можливостей регулювання у широкому діапазоні.

У межах роботи запропоновано конструкцію секції культиватора для смугового обробки ґрунту, оснащену тензометричними датчиками для визначення тягового опору. Розроблено вимірювальну систему на базі аналого-цифрового перетворювача mDAQ-12 та мікропроцесорної платформи, що забезпечує реєстрацію, збереження та обробку даних у реальному часі. Проведено тарування датчиків із використанням кранових вагів, побудовано тарувальні характеристики та виконано апроксимацію результатів, де найбільш адекватною виявилась кубічна залежність.

Польові випробування здійснено із застосуванням трактора FENDT 900 Vario. Отримані результати показали відповідність експериментальних даних математичному моделюванню з розбіжністю не більше 8%. Це підтверджує працездатність запропонованої системи та її здатність забезпечувати достовірний контроль тягового опору, що дозволяє визначати оптимальні конструктивні та експлуатаційні параметри агрегату. Використання системи сприяє мінімізації витрат пального, підвищенню точності досліджень та формуванню обґрунтованих рекомендацій щодо удосконалення ґрунтообробних машин.

Таким чином, розроблена контрольно-вимірювальна система є важливим науково-практичним рішенням для підвищення ефективності технології Strip-Till та забезпечення енергозбереження у сучасному землеробстві.

Ключові слова: ґрунтообробний агрегат; Strip-Till; тензометричний датчик; контрольно-вимірювальна система; тяговий опір; енергозбереження; польові дослідження; аналого-цифровий перетворювач; культиватор; мікропроцесорна система.

Вступ. Сучасні технології обробки ґрунту висувають підвищені вимоги до ефективності та якості виконання агротехнічних операцій. В умовах

інтенсивного землеробства особливого значення набуває оптимізація енергетичних витрат та забезпечення стабільності технологічних



процесів. Одним із ключових напрямів удосконалення ґрунтообробних агрегатів є створення систем моніторингу та контролю, які дозволяють у реальному часі оцінювати параметри роботи машини та взаємодію робочих органів із ґрунтом.

Польові дослідження є необхідним етапом перевірки працездатності та надійності нових конструкцій. Вони дають змогу визначити тяговий опір, енергоспоживання, рівномірність обробітку та вплив агрегату на фізико-механічні властивості ґрунту. Для отримання достовірних результатів потрібні спеціалізовані контрольно-вимірювальні системи, здатні реєструвати навантаження, швидкість руху, глибину обробітку та інші параметри з високою точністю.

Розробка таких систем є актуальною задачею, оскільки традиційні методи вимірювання часто не забезпечують необхідної точності та оперативності. Використання тензометричних датчиків, аналого-цифрових перетворювачів та мікропроцесорних засобів відкриває можливості для створення комплексних рішень, що дозволяють автоматизувати процес збору та обробки даних. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню ефективності досліджень, зменшенню похибок та формуванню обґрунтованих рекомендацій щодо удосконалення конструкцій ґрунтообробних машин.

Таким чином, розробка контрольно-вимірювальної системи для проведення польових досліджень ґрунтообробного агрегату є важливим науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення точності експериментальних досліджень та забезпечення енергозбереження у технологіях обробітку ґрунту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для забезпечення якісного обробітку ґрунту відповідно до вимог даної технології необхідно мати комплекс машин які здатні забезпечити якісний обробіток смуги ґрунту, із найменшими втратами енергії. Одним із напрямків зменшення витрат енергії на обробіток ґрунту за технологією StripTill, як зазначено у публікації [2], є контроль щільності ґрунту, і відповідно зміна глибини обробітку. Для цього автори пропонують використати електро, пневматико-гідравлічну систему контролю та розпушування ґрунту. [2]. Запропонована ними система є досить складною та багатоелементною. Крім того виникає потреба у дообладнанні тягового засобу компресорною станцією, яка має значні габаритні розміри, вагу та потребує певної кількості енергії для живлення.

Конструкція даної машини представлена на рис. 1.



Рис. 1 Дослідний агрегат для обробітку ґрунту із контролем щільності. [2]

Недоліком даного агрегату є конструкція опорних коліс, та привод їх регулювання, тому що відсутня можливість регулювання глибини у широкому діапазоні.

Проектування та дослідження даного агрегату проводились за допомогою методу кінцевих елементів при визначенні міцності сошника та методу повнофакторного експерименту.

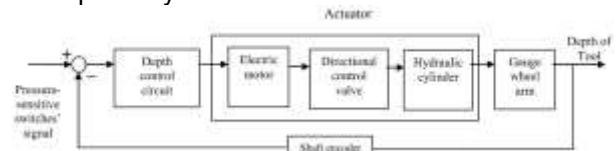


Рис. 2. Структурна схема системи автоматичного керування глибиною обробітку. [2]

У результаті, проведених авторами досліджень, було встановлено що застосування даної системи дозволяє отримати економію 17,5% палива. Але при цьому страждає рівномірність обробітку ґрунту та у подальшому можливі виникнення ускладнення при розвитку рослин, що впливає на майбутній врожай.

Відомо дослідження ґрунтообробного агрегату що наведено у публікації [3].

Комбінована ґрунтообробна машина що представлена на рис. 3 [3] складається з двох глибокорозпушувачів для розпушування твердого шару ґрунту. Довжина лап становить 900 мм, відстань між ними – 750 мм, і вони нахилені до горизонту під кутом 70°, на кінці яких лапа з крилами має довжину 350 мм, а її передня частина зрізана під кутом 30° для проникнення в ґрунт.

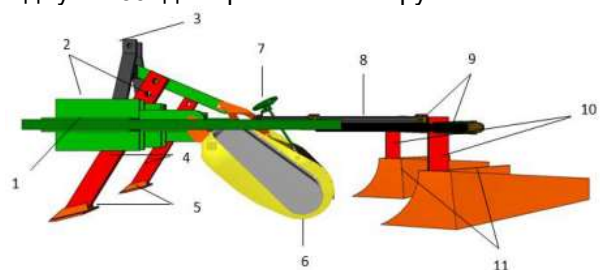
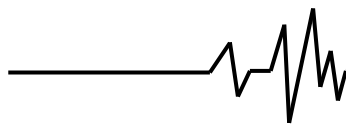


Рис. 3. Ґрунтообробний агрегат [3].



Відстань між двома плугами можна змінювати, переміщуючи їх точки зчеплення на рамі. За двома плугами на відстані 50 см йде роторний плуг, який подрібнює ґрунтові блоки, що утворилися в результаті роботи глибокорозпушувача, змішуючи їх з частинками ґрунту та рештою попередньої культури. Окрім вирівнювання ґрунту. Робоча ширина 1500 мм, оснащений пернатими лезами, взаємно закріпленими на осі обертання. Довжина кожного леза становить 200 мм. Він приводить у обертальний рух, з'єднуючи вал плуга з приводом відбору потужності трактора за допомогою гнучких муфт. Плуг був закріплений на рамі за допомогою двох точок зчеплення; вони знаходяться на відстані 140 см. Висота та опускання роторного плуга відносно рівня зубців глибокорозпушувача можуть регулюватися за допомогою гвинтового важеля, а його швидкість обертання може бути зменшена за допомогою шестерень, розміщених всередині масляного насоса, при цьому є ковзна муфта для захисту шестерень та лез при збільшенні навантаження або появі перешкоди перед ним. Також після роторного плуга було прикріплено дві борозни для сошників з відстанню (500 мм), які з'єднані з двома тримачами корпусу. Відстань між ними становить 750 мм, і її можна змінювати, переміщуючи дві точки зчепки для двох опор корпусу на рамі, щоб відповідати відстаням між культурами, вирощеними на борознах. Один корпус складається з двох крил, відстань між якими можна регулювати за допомогою двох розсувних сталевих лінійок, формуючи борозни різної площі в поперечному перерізі.

Дослідження даного агрегату проводилось методом факторного експерименту із трикратною повторюваністю кожного дослідів. При визначенні тягового опору, розглядали наступні фактори впливу:

- вміст вологи у ґрунті;
- об'ємну щільність ґрунту;
- глибини обробітку;
- швидкість обертання лопатей;
- відстань між борозенковими пластинами сошника.

За результатами проведених досліджень найбільший вплив на тяговий опір агрегату, має глибина обробітку ґрунту, швидкість обертання лопатей, відстань між пластинами сошника. Вимірювання показників проводились із використанням тензометричних датчиків та контрольно реєструючої апаратури на базі ПЕОМ. Дане дослідження проводилось в умовах близького сходу, на глинистих ґрунтах із низькою вологістю.

Отже розробка нових конструкцій агрегатів для смугового обробітку ґрунту є актуальною задачею.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є розробка контрольно вимірювальної системи для проведення польових випробувань секції культиватора для обробітку

ґрунту за технологією Strip - Till.

Матеріали та методи дослідження. Запропонована секція культиватора для смугового обробітку ґрунту представлена на рис. 4.

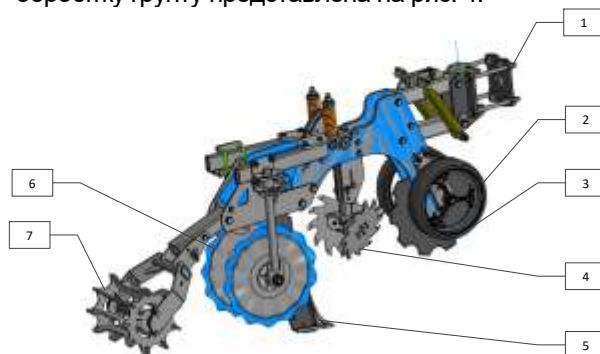


Рис. 4. 3D модель секції культиватора для виконання операцій за технологією смугового обробітку ґрунту.

Запропонована секція культиватора складається фіксуючого елемента 1, до якого за допомогою пальців приєднується паралелограмна підіска секції, опорних коліс 2, прорізного диска 3, похилих дисків для зрізання рослинних залишків 4, лапи 5, дисків загортачів 6, та котка 7.

Як відомо із попередніх досліджень, що були виконані такими вченими як Адамчук В.В., Горячкін В.П., Ковбаса В.П., та ін, критерієм визначення енергетичних витрат на виконання технологічної операції із обробітку ґрунту є величина тягового опору агрегату.

Для визначення тягового опору агрегату, скористаємось тензометричними датчиками.

Конструкція тензометричного датчика представлена на рис. 5.

Даний датчик виготовлений у вигляді пальця, із фрезерованою канавкою для тензометричних елементів та центральним отвором для прокладання проводки.

Тензометричні елементи клеїлись на у фрезеровану канавку, та з'єднувались по мостовій схемі. Сема підключення представлена на рис. 5.



Рис. 5. Тензометричний датчик для визначення тягового зусилля.

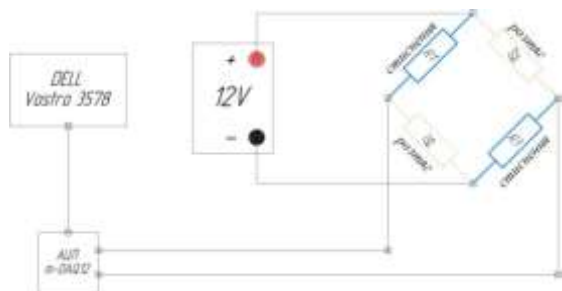
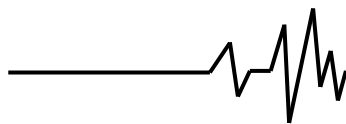


Рис. 6. Схема підключення тензометричного датчика у вимірювальну систему.

Тарування даного датчика відбувалось за допомогою кранових вагів ВК – ЗЕВС, характеристики яких представлені у таблиці 1.

Таблиця 1. – Технічна характеристика кранових вагів ВК – ЗЕВС

Характеристика	Од. вим	Значення
Максимальна межа зважування Max,	кг	3000
Мінімальна межа зважування Min,	кг	20
Ціна поділки (дискретність),	кг	1
Робочий діапазон температур,	°C	від -20°C до +40°C
Ступінь захисту IP	.	IP65
Висота символів дисплея (індикації),	мм	38
Час безперервної роботи від АКБ,	год	> 100

Тарування проводили у наступній послідовності:

1. Вмикали живлення аналого цифрового перетворювач і ноутбука та подавали напругу на тензометричні датчики і проводили балансування каналу.

2. Після того, як тензо - вимірювальний комплекс було відбалансовано, з клавіатури ноутбука запускали керуючу програму і проводили зчитування цифрових значень, що відповідають нульовому навантаженню.

3. Виконували ступеневе навантаження пальця. Для цього на палець навіски встановили втулку з кільцем і приєднали до кран-балки через кранові ваги, після чого надавали навантаження на палець вагою агрегату. Після кожного ступеня навантаження здійснювали зчитування відповідних цифрових показань. Максимальне прикладене навантаження становило 1250Н ±50Н.

Результати тарування представлені у вигляді тарувальної характеристики на рис. 7.

Після отримання результатів вимірювань, була проведена апроксимація.

Для апроксимації використали лінійну, квадратичну та кубічну залежності. Найближчою

виявилась кубічна залежність, яку і надалі будемо використовувати для проведення досліджень.

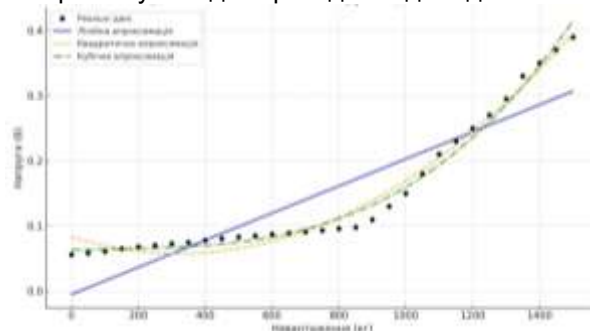


Рис. 7. Тарувальна характеристика датчика.

Для побудови вимірювальної системи використаємо аналого – цифровий перетворювач mMDAQ-12.

Технічні характеристики даного перетворювача представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Технічні характеристики аналого-цифрового перетворювача mDAQ-12

Характеристика	Од. вим	Значення
Розрядність	біт.	12
Частота дискретизації	Гц	100
Кількість каналів		8
Інтерфейс приєднання до ПК		USB

Отже контрольно вимірювальна система для дослідження характеристики запропонованої секції культиватора для виконання операцій за технологією StripTill представлена на рис. 8 і складається з ДЗ₁, ДЗ₂ – давачі зусилля, у вигляді пальців, що встановлені у ключових частинах секції, ДШ₁ - давач швидкості секції. МХ – мультиплексор, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, ШД – шина даних, МПС – мікропроцесорна система.

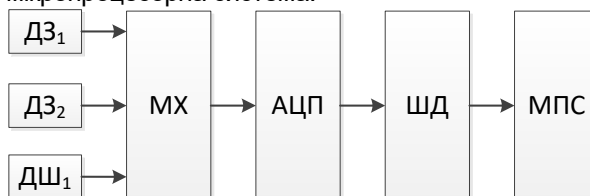
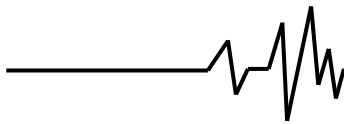


Рис. 7. – Схема контрольно вимірювальної системи

Тиск, що виникає від дії лапи культиватора, сприймається пальцем із тензометричним датчиком. Одночасно загальна сила опору секції передається на інший палець із тензометричним датчиком, розташованим у паралелограмній підвісці. Обидва сигнали надходять на вхід мультиплексора, де кожному каналу призначається власний аналоговий ключ. Відповідно до цього ключа сигнали по чергові зчитуються аналого-цифровим перетворювачем m-DAQ 12.



Отримані цифрові значення записуються у внутрішню оперативну пам'ять, яка має обсяг чотирьох одnobайтних комірок. Кожен канал має власну комірку, що забезпечує збереження інформації про всі активні сигнали після завершення одного циклу роботи. Після кожного нового перетворення дані відповідного каналу оновлюються, а попередні значення через паралельний інтерфейс передаються на зовнішній запам'ятовуючий пристрій по USB-каналу.

На наступному етапі програмне забезпечення виконує масштабування отриманих даних, формує їх у масиви, синхронізує за часовими мітками та готує до відображення на екрані користувача.

Для проведення дослідів як енергетичний засіб було використано трактор FENDT 900 Vario.

Трактор із дослідним культиватором представлено на рис. 8.



Рис. 8. Культиватор запропонованої конструкції навішаний на трактор FENDT 900 Vario.

Змонтована система представлена на рис. 9



а)



б)



в)



г)

Рис. 9. Елементи контрольно-вимірювальної системи для визначення тягового опору культиватора.

а) Встановлення пальця у паралелограмній підвісці.

б) Приєднання тензOMETричних датчиків до мультиплексора

в) МонтаЖний короб із мультиплексором

г) Аналого-цифровий перетворювач у кабіні трактора.

Екран персонального комп'ютера із процесом реєстрації результатів вимірювань представлено на рис. 10.



Рис. 10. Екран персонального комп'ютера із результатами вимірювань у кабіні FENDT 900 Vario

З метою оцінки твердості ґрунту було застосовано твердомір Рев'якіна. Отримані у результаті вимірювань дані представлені у вигляді діаграми на рис. 11

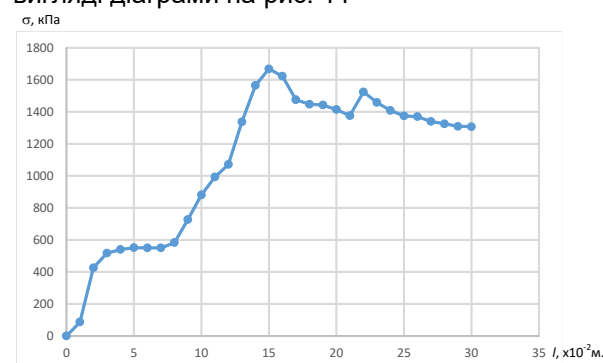
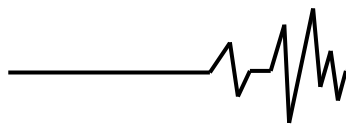


Рис. 11. Діаграма твердості ґрунту

У результаті проведення досліджень,



були отримані значення тягового опору секції культиватора для глибини обробітку, що змінювалась в межах 0,25...0,3 м та швидкості руху агрегату, що змінювалась в межах 3,2 ... 9,5 км/год.

Одна з отриманих залежностей представлена на рис. 12.

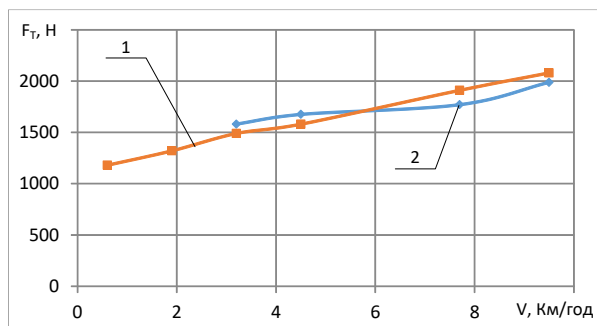


Рис. 12. Залежність тягового опору агрегату від швидкості, при глибині обробітку 0,25 м. 1 – отримана шляхом математичного моделювання; 2 – отримана у результаті польових випробувань

Крива 1, що представлена на рис. 12. отримана шляхом моделювання для таких самих параметрів системи як і крива 2, що отримана у результаті польових випробувань агрегату. Як видно із наведеної залежності величина розбіжності результатів знаходиться в межах 8%.

Використання запропонованої контрольної вимірювальної системи дозволить у повному обсязі перевірити працездатність запропонованої конструкції культиватора, визначити його оптимальні конструктивні та експлуатаційні параметри.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Отже запропонована схема контрольної вимірювальної системи культиватора для виконання смугового обробітку ґрунту є працездатною та дозволяє провести дослідження запропонованого агрегату із метою визначення його оптимальних конструктивних та експлуатаційних параметрів.

Також запропонована контрольна вимірювальна система може бути використана для контролю тягового зусилля та мінімізації витрат пального відповідно.

Список використаних джерел

1. Досвід впровадження strip-till в Україні: переваги та нюанси. URL: <https://superagronom.com/articles/480-dosvid-vprovadjennya-strip-till-v-ukrayini-perevagi-ta-nyuansi> (дата звернення: 24.05.2024)

2. Tahmasebi, M., Gohari, M., Sharifi Malvajardi, A., & Hedayatipour, A. Development and Field Evaluation of a Variable-Depth Tillage Tool Based

on a Horizontal Pneumatic Sensor Measurement. *Journal of Agricultural Machinery*, 2023, 13(1): p. 85-99. <https://doi.org/10.22067/jam.2023.79231.1128>.

3. Akram A. A. Alkhalidy, Majed S. hmoud, Ali F. Nasir. Field Performance Evaluation of a New Tillage System. *Bionatura*. 202, Issue 1 Vol 8 No 1 p.1–15. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/CSS/2023.08.01.65>

4. Ковбаса В.П., Швайко В.М., Гуцол О.П. Механіка сільськогосподарських матеріалів і середовищ: навч. посібник. Київ-Ніжин, 2015, 536с.

5. Руткевич В., Остапенко В., Кажуро М. Теоретичне дослідження умов роботи дозуючих робочих органів посівного комплексу для диференційованого внесення добрив. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки*. 2024. № 4 (339). С. 91–96. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-339-4-14

6. Руткевич В., Шаргородський С., Остапенко В. Сучасні технічні рішення у конструкціях посівних комплексів для підвищення ефективності агротехнологій. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки*. 2025. № 358(6). С. 281–290.

7. Руткевич В.С., Остапенко В.А. Розроблення висівної системи посівного комплексу для внутрішньо-ґрунтового диференційованого мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки*. 2024. № 1 (330). С. 264–270. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-331-40

References

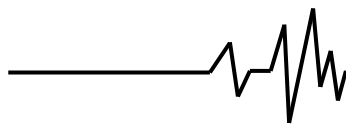
1. Dosvid vprovadzhennya strip-till v Ukraini: perevagi ta nyuansi. URL: <https://superagronom.com/articles/480-dosvid-vprovadjennya-strip-till-v-ukrayini-perevagi-ta-nyuansi> (data zvernennya: 24.05.2024) [in Ukrainian].

2. Tahmasebi, M., Gohari, M., Sharifi Malvajardi, A., & Hedayatipour, A. (2023). Development and Field Evaluation of a Variable-Depth Tillage Tool Based on a Horizontal Pneumatic Sensor Measurement. *Journal of Agricultural Machinery*, 13(1): p. 85-99. <https://doi.org/10.22067/jam.2023.79231.1128>.

3. Akram A. A. Alkhalidy, Majed S. hmoud, Ali F. Nasir. (2023). Field Performance Evaluation of a New Tillage System. *Bionatura*. Issue 1 Vol 8 No 1 p.1–15. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/CSS/2023.08.01.65>

4. Kovbasa V.P., Shvaiko V.M., Gutsol O.P. (2015) Mekhanika silskogospodarskikh materialiv i seredovishch: navch. posibnik / V.P. Kovbasa., – Kiiv-Nizhin, 536 s [in Ukrainian].

5. Rutkevych V., Ostapenko V., Kazhuro M. (2024) Teoretychne doslidzhennia umov roboty dozuiuchykh robochykh orhaniv posivnoho kompleksu dlia dyferentsiiovanooho vnesennia dobryv. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seria:



tekhnichni nauky. 2024. № 4 (339). С. 91–96. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-339-4-14

6. Rutkevych V., Sharhorodskiy S., Ostapenko V. (2025) Suchasni tekhnichni rishennia u konstruktivnykh posivnykh kompleksiv dlia pidvyshchennia efektyvnosti ahrotekhnolohii. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: tekhnichni nauky. № 358(6). С. 281–290.

7. Rutkevych V.S., Ostapenko V.A. (2025) Rozroblennia vysivnoi systemy posivnoho kompleksu dlia vnutrishno-hruntovoho dyferentsiiovanoho mineralnogo udobrennia z odnochasnoiu sivboiu zernovykh kultur Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: tekhnichni nauky. 2024. № 1 (330). С. 264–270. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-331-40

DEVELOPMENT OF A CONTROL AND MEASURING SYSTEM FOR CONDUCTING FIELD RESEARCH OF A SOIL TILLING MACHINE

The paper considers the urgent problem of increasing the efficiency and accuracy of field research of soil tillage units in the Strip-Till technology. Modern requirements of intensive farming involve optimizing energy costs and ensuring the stability of technological processes, which necessitates the creation of specialized control and measuring systems. An analysis of recent studies and publications has been conducted, which consider various designs of units and systems for automatic adjustment of the depth of cultivation, and their advantages and disadvantages have been identified. In particular, the complexity of multi-component systems

and the limited ability to adjust in a wide range have been noted.

Within the framework of the paper, a design of a cultivator section for strip tillage is proposed, equipped with strain gauge sensors for determining traction resistance. A measuring system based on an analog-to-digital converter mDAQ-12 and a microprocessor platform has been developed, which provides registration, storage and processing of data in real time. The sensors were calibrated using crane scales, calibration characteristics were constructed and the results were approximated, where the cubic dependence was found to be the most adequate.

Field tests were carried out using the FENDT 900 Vario tractor. The results obtained showed the correspondence of the experimental data to the mathematical modeling with a discrepancy of no more than 8%. This confirms the operability of the proposed system and its ability to provide reliable control of traction resistance, which allows determining the optimal design and operational parameters of the unit. The use of the system contributes to minimizing fuel consumption, increasing the accuracy of research and forming substantiated recommendations for improving soil tillage machines.

Thus, the developed control and measuring system is an important scientific and practical solution for increasing the efficiency of Strip-Till technologies and ensuring energy saving in modern agriculture.

Keywords: soil tillage unit; Strip-Till; strain gauge sensor; control and measuring system; traction resistance; energy saving; field research; analog-to-digital converter; cultivator; microprocessor system.

Відомості про авторів

Шаргородський Сергій Анатолойович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: sergey20@vsau.vin.ua).

Галанський Вадим Валерійович – аспірант кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: vgalaxy1991@gmail.com)

Комарівський Дмитро Михайлович – провідний науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (вулиця Клочківська, 228, Харків, Харківська область, 61045, e-mail: dmkomariv@gmail.com).

Shargorodskiy Serhiy – PhD, Associate Professor of the Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnychna str., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: sergey20@vsau.vin.ua).

Halanskyi Vadym – postgraduate Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnychna str., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: vgalaxy1991@gmail.com)

Komarivskiy Dmytro – research associate of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University (KNAFU): Kharkiv, UA (3228 Klochkivska Street, Kharkiv, Kharkiv Region, 61045, e-mail: dmkomariv@gmail.com).

Стаття надійшла 22.11.2025

Стаття прийнята 02.12.2025

Опубліковано 25.12.2025