

УДК 631.171:658.011.56

Вольський В. А.

кандидат технічних наук, старший дослідник,
Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України
смт Глеваха, Україна
E-mail: vladimir_volskiy@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7639-4216

Коцюбанський Р. В.

доктор філософії,
Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України
смт Глеваха, Україна
E-mail: kosyubanskiy1983@ukr.net
ORCID: 0000-0002-4114-3951

Третяк В. М.

кандидат технічних наук, доцент,
Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
Київ, Україна
E-mail: viktor_tretyak@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7641-7262

Бончик В. С.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Подільський державний університет
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: vitaliy-bonchik@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9155-2465

**АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ
В ДОЗУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТАХ СІВАЛОК****Анотація**

У статті запропоновано та перевірено нові підходи до створення техніки, які найкраще відповідають сучасним вимогам, сприяючи вирішенню базових проблем механізації польових робіт. Доведено, що використання регульованого електроприводу в умовах інтенсивного насичення мобільних сільськогосподарських агрегатів засобами інформатизації та автоматизації відкриває можливість створення техніки нового покоління з високим рівнем адаптації до агротехнічних вимог у рослинництві, що дає можливість значно підвищити рентабельність сільськогосподарського виробництва.

Під час проведення посівних робіт досить часто відбувається порушення заданих норм посіву, нерівномірний розподіл насіння на площі, що засівається, або рядку, порушується контроль кількісних допусків на відхилення відстаней між насінням. У зв'язку із цим виникає ефект взаємного пригнічення, за якого рослини не отримують достатньої кількості поживних речовин через близьке розташування кореневих систем, що надалі знижує врожайність і якість одержуваного насіння.

Сучасний розвиток елементної бази силового електричного приводу та систем його керування дає змогу за невеликої вартості одержувати необхідну точність виконання технологічних процесів. Стрімке впровадження систем позиціонування та геолокації дає змогу з необхідною рентабельністю впроваджувати їх у сільськогосподарські технології рослинництва. Однією з основних технологічних операцій, від якої залежить рентабельність виробництва в рослинництві, є сімба. Тому вдосконаленням посівних комплексів із метою покращення якості сіви та одержання кращої урожайності займаються провідні світові фірми.

На підставі аналізу світового досвіду запропоновано методи визначення конструкційних вимог щодо впровадження регульованого електроприводу висівальних апаратів для оперативного контролю зміни норми висіву з максимальним використанням вітчизняної елементної бази.

Приводи висівальних апаратів здійснюють обертання робочих органів за рахунок прямого зв'язку з колесом сівалки через механічні передачі. Для регулювання норми посіву застосовуються механічні коробки з фіксованим набором зубчастих передач або варіатори пасові з установленим діапазоном регулювання передавального відношення.

Механічні приводи мають низку недоліків: жорсткий зв'язок із висівним апаратом без компенсації буксування коліс сівалки та ривків під час руху, прослизання ремня варіатора. Найбільший вплив зазначених недоліків проявляється за неотримання оператором МТА стабільного швидкісного режиму під час виконання технологічної операції посіву.

Виключення негативного впливу механічних передач на висівний апарат можливе за рахунок виключення прямого зв'язку з колесом сівалки та застосування в приводах елементів із числовим програмним керуванням, які будуть узгодити швидкість переміщення сівалки з частотою обертання висівного апарату з урахуванням коефіцієнта буксування, що змінюється, і характеру руху енергозасобу, забезпечуючи точність процесу без усереднення всіх значущих властивостей.

Таким чином, дослідження та розроблення технічних засобів для реалізації якісного посіву насіння зернових культур є актуальним та практично значущим завданням.

Ключові слова: регульований електропривод, машино-тракторний агрегат, висівний апарат, посівний комплекс.

Вступ. Виробництво зернових культур – одна зі значних та пріоритетних галузей сільського господарства, яка визначає ступінь продовольчої незалежності країни.

Нині для посіву зернових культур широко застосовуються пневматичні сівалки, у яких транспортування насінневого матеріалу з бункера до сошників здійснюється з використанням пневмотранспортних засобів. Дозування кількості насінневого матеріалу найчастіше проводиться за допомогою котушкового висівного апарату, який приводиться від опорно-ходового колеса сівалки. У процесі експлуатації пневматичних сівалок спостерігаються недоліки, які негативно впливають на якість висіву насіння зернових культур. По-перше, привід вентилятора пневматичних сівалок здійснюється від валу відбору потужності (ВВП) трактора через систему механічних передач. Оскільки частота обертання колінчастого валу двигуна і пов'язаного з ним ВВП змінюються залежно від навантаження, то змінюється і частота обертання валу вентилятора. У результаті змінюються параметри повітряного потоку, з потужністю якого змінюються подача насінневого матеріалу до сошників сівалки і кількість поданого насіння. По-друге, привід котушки висівного апарату також не відрізняється досконалістю, при цьому опорно-ходове колесо сівалки може змінювати радіус кочення з причини налипання ґрунту на протектор, пробуксовувати або заклинювати в результаті попадання в підшипники ґрунтового абразиву, рослинних і поживних залишків. Окрім того, механічний привід суттєво ускладнює змінювання норми висіву в процесі роботи.

Таким чином, приводи з механічним зв'язком між висівним апаратом і колесом сівалки за різкого прискорення і гальмування МТА порушують рівномірний потік посівного матеріалу і висівний апарат подає насіння малими порціями, що не забезпечує поодинокую подачу насіння в борозну.

Мета роботи – удосконалення якості сівби вітчизняних сівалок шляхом упровадження регульованого електроприводу висіваючих апаратів для оперативного контролю зміни норми висіву.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасна побудова МТА основана на збільшенні інтеграції елементів тракторів і сільгоспмашин у єдиний комплекс із багатьма ланками зворотних зв'язків, що дає змогу виконувати технологічні операції з максимальною якістю за мінімальних витрат технологічного матеріалу та пального.

Із теорії трактора відомо, що підтримання балансу потужностей між джерелом (ДВЗ) та споживачем (МТА) за умов постійної швидкості (робота в межах регуляторної гілки характеристики ДВЗ) призводить до суттєвого погіршення питомої витрати палива (у поширених дизельних двигунах може збільшуватися від 160 г/(кВт*год) до 300 г/(кВт*год) і більше).

Практичні шляхи розв'язку цих проблем викладені у багатьох монографіях, наукових статтях тощо [1; 2; 4–7; 9]. Фірмові know-how-підходи до конструювання систем керування посівними комплексами зменшують можливість скористуватися напрацюваннями провідних світових фірм. А наукові школи вищих навчальних закладів зруйнувалися у зв'язку з евакуацією фахівців у більш безпечні для проживання місця.

Під час розроблення МТА з упровадженням електроприводу технологічними процесами слід урахувати, що у складі МТА може бути задіяний трактор будь-якого виробника. Тому необхідно орієнтуватися на енергетичний баланс електромережі типового трактора.

Для цього нами проведено аналіз споживання енергії мобільними сільськогосподарськими машинами на різних технологічних операціях, який наведено в табл. 1.

Сівба – надзвичайно важлива технологічна операція під час вирощування сільськогосподарських культур. Головним завданням під час сівби є оптимальний розподіл у ґрунті на заданій глибині насіння з метою створення сприятливих умов для росту та розвитку рослин і, як наслідок, отримання максимального врожаю.

Способи сівби класифікують за розподілом насіння у вертикальній (профіль поверхні поля) і горизонтальній площинах, тобто розподіл їх у рядках із різною шириною міжрядь. За шириною міжрядь і розподілом насіння в рядках розрізняють такі способи сівби: рядковий, перехресний, вузькорядний, стрічковий, смуговий і розкидний [5–7; 9]. Насіння під час сівби повинно бути розподілене по полю так, щоб форма і розміри площі живлення кожної рослини наближалися до оптимальної, тобто до такої, коли площі живлення кожної рослини приблизно однакові як за розміром, так і за формою та відсутні незасіяні ділянки поля.

Під площею живлення слід розуміти певну площу поля з відповідною їй товщиною ґрунту і об'ємом повітря, які припадають на одну рослину в посівах. Розглянемо різні типи (види) електродвигунів та проаналізуємо їх використання, що наведено на рис. 1 [3; 10].

Таблиця 1. Варіанти споживання електричної енергії для регулювання технологічних процесів мобільними сільськогосподарськими машинами

Регулювання режимів роботи механічних знарядь	300 Вт від розетки трактора	2000 Вт від додаткового генератора на ДВЗ трактора	Гідравлічний привід окремого генератора	Автономні джерела енергії на с. г. машинні
Оранка	- глибина обробітку; - зміна кутів атаки; - управління клапанами гідросистеми	- глибина обробітку; - зміна кутів атаки; - управління клапанами гідросистеми	- глибина обробітку; - зміна кутів атаки; - управління клапанами гідросистеми	- глибина обробітку; - зміна кутів атаки; - управління клапанами гідросистеми
Культивація	- глибина обробітку; - зміна кутів атаки; - управління клапанами гідросистеми	- глибина обробітку; - зміна кутів атаки; - управління клапанами гідросистеми	- глибина обробітку; - зміна кутів атаки; - управління клапанами гідросистеми	- глибина обробітку; - зміна кутів атаки; - управління клапанами гідросистеми
Внесення добрив	- управління клапанами гідросистеми; - регулювання подачі добрив	- управління клапанами гідросистеми; - регулювання подачі добрив	- управління клапанами гідросистеми; - регулювання подачі добрив; - силовий електропривод робочих органів	- управління клапанами гідросистеми; - регулювання подачі добрив; - силовий електропривод робочих органів
Сівба	- глибина посіву; - регулювання подачі - відключення висіваючих апаратів	- глибина посіву; - регулювання подачі; - розкладання маркерів; - силовий електропривод робочих органів	- глибина посіву; - регулювання подачі; - розкладання маркерів; - силовий електропривод робочих органів	- глибина посіву; - регулювання подачі; - розкладання маркерів; - силовий електропривод робочих органів
Обприскування	- управління клапанами	- управління клапанами та форсунками; - розкладання штанги	- управління клапанами та форсунками; - розкладання штанги	- управління клапанами та форсунками; - розкладання штанги; - силовий електропривод робочих органів
Збирання врожаю	частково	частково	управління клапанами гідросистеми	силовий електропривод робочих органів
Транспортні роботи	частково	частково	управління клапанами гідросистеми	силовий електропривод робочих органів
Роботи в закритих приміщеннях	частково	частково	управління клапанами гідросистеми	силовий електропривод робочих органів

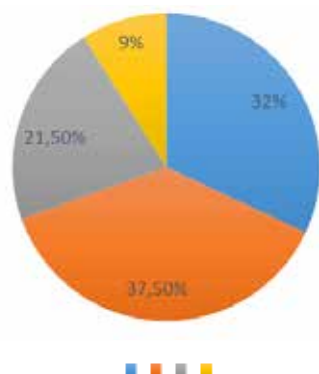


Рис. 1. Частка використання різних видів електродвигунів у всьому світі: 32% – двигуни постійного струму; 37,5% – двигуни змінного струму; 21,5% – серводвигуни; 9% – крокові двигуни

У табл. 2 наведено різні типи електродвигунів та їхні особливості (функціонал, модифікації та сфери застосування) [3; 10].

Таблиця 2. Типи електродвигунів та їхні особливості

№ п/п	Типи електродвигунів	Робочий принцип	Застосування	Переваги	Недоліки
1	Двигун постійного струму	Перетворення електричної енергії на механічну	Широко використовується в промисловості та побутових приладах	Дешевий, простий у використанні	Неефективний, потребує постійного обслуговування та заміни щіток
2	Двигун змінного струму	Створення магнітного поля, що обертається	Використовується в різних промислових механізмах, включаючи насоси, вентилятори та компресори	Ефективний; більш надійний, ніж двигун постійного струму	Складний у використанні
3	Серводвигун	Використання зворотного зв'язку для точного позиціонування	Часто використовуються в промисловій автоматизації та робототехніці	Висока точність позиціонування та контролю, висока продуктивність	Дорогий, складний у використанні
4	Кроковий двигун	Робота за принципом крокових рухів	Широко використовується в принтерах, сканерах та інших пристроях, де потрібне точне позиціонування	Висока точність позиціонування, низька вартість	Низька продуктивність, шумний, неефективний

Керований електропривід може здійснюватися за допомогою різних двигунів (перетворювачів електричної енергії на механічну), зокрема електричних магнітів, лінійних та обертових перетворювачів [7; 9].

Колекторні електричні двигуни більш дешеві, але для стабілізації їх частоти обертання необхідно створювати спеціальну систему зі зворотним зв'язком через енкодер. Також у ньому зношуються щітки і пластини колектору. Безколекторні двигуни векторного типу з постійними магнітами керуються спеціальним контролером, який можливо налаштувати на різні зовнішні характеристики відповідно до умов експлуатації. Крокові двигуни мають певні переваги в системах керування. Зокрема, кут повороту двигуна пропорційний кількості вхідних імпульсів, двигун працює з повним моментом у стані спокою (якщо обмотки підключені до живлення), безвідмовність – у зв'язку з відсутністю щіток, довговічність двигуна залежить тільки від довговічності вальниць. Залежність частоти обертання двигуна від дискретних імпульсів дає змогу керувати двигуном без зворотного зв'язку, завдяки чому кроковий двигун простіший і дешевший у керуванні. Можливість досягнення дуже низьких швидкостей обертання з навантаженням, закріпленим безпосередньо на осі двигуна. Широкий діапазон швидкостей обертання отримуваний завдяки тому, що швидкість пропорційна частоті вхідних імпульсів [7; 9].

Основними недоліками крокових двигунів є споживання електроенергії, яка не зменшується навіть без навантаження, невисока питома потужність та відносно складна схема управління.

У результаті узагальнення досягнень провідних виробників засобів автоматизації розроблено структурно-функціональну схему регульованого електроприводу висівної системи зернових сіялок (рис. 2).

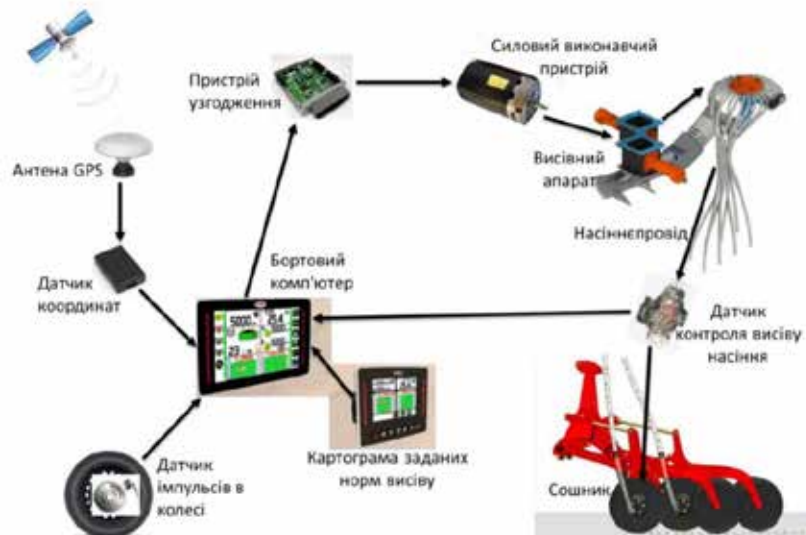


Рис. 2. Структурно-функціональна схема керування регульованого електроприводу посівного комплексу

Структурно-функціональна схема регульованого електроприводу висівної системи зернових сівалок включає:

- датчик координат з антеною GPS для отримання інформації про місце знаходження посівного агрегату в полі або датчик імпульсів на спеціальному «5-му» колесі;
- бортовий комп'ютер із відповідними інтерфейсами, об'єднаними в одному модулі, який являє собою мобільний обчислювальний пристрій – tablet PC з операційною системою;
- пристрій узгодження із силовим виконавчим пристроєм і висівним апаратом, який з'єднаний із насінне-проводом, до якого прикріплений датчик контролю висіву насіння.

Для початкової макетної перевірки ефективності регульованих електроприводів у машинно-тракторних агрегатах на макетних зразках було розроблено структурно-функціональну схему алгоритму керування, яку наведено на рис. 3.

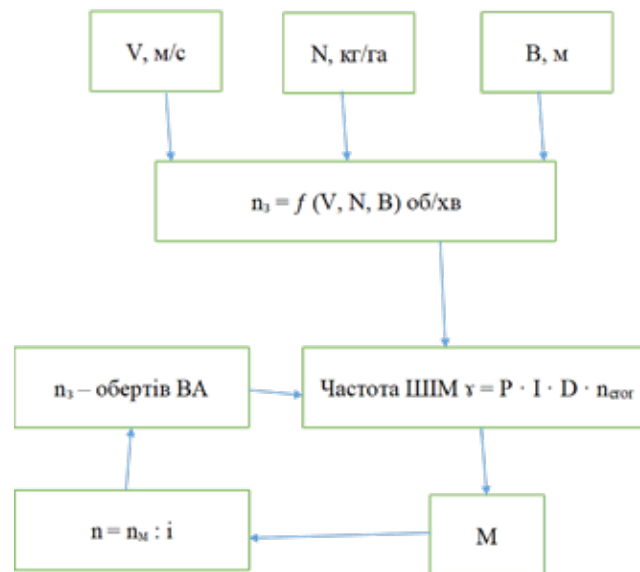


Рис. 3. Варіант структурно-функціональної схеми алгоритму керування регульованим електроприводом для посівного МТА:

- V – поступальна швидкість руху агрегату, м/с; N – норма висіву кг/га; b – ширина захвату, м;
 γ – скважність ШІМ; n_3 – задана частота обертання валу котушки дозатора (ВА), об/хв⁻¹;
 n – фактична частота обертання валу котушки дозатора (ВА), об/хв⁻¹; n_m – частота обертання валу двигуна, об/хв⁻¹; i – передаточне відношення редуктора; M – електродвигун

Перевірку роботи схеми для реєстраційного вимірювального комплексу проведено в лабораторних умовах на макетному зразку з використанням сівалки КАРРА 6000 SP (рис. 4).

Попередні польові випробування [8] проводили на полях ДП ДГ «Оленівське» ІМА АПВ НААН. Матеріал для посіву – пшениця.



Рис. 4. Установка експериментального силового електроприводу на сівалці: 1 – блок живлення; 2 – електронний блок управління; 3 – електродвигун MY1016Z2; 4 – енкодер електродвигуна; 5 – вал висівного апарату

На рис. 5 показано експериментальні залежності величин дійсних норм висіву від швидкості руху посівного комплексу, з яких видно нестабільність роботи системи висіву на її граничних налаштуваннях за нормою висіву.

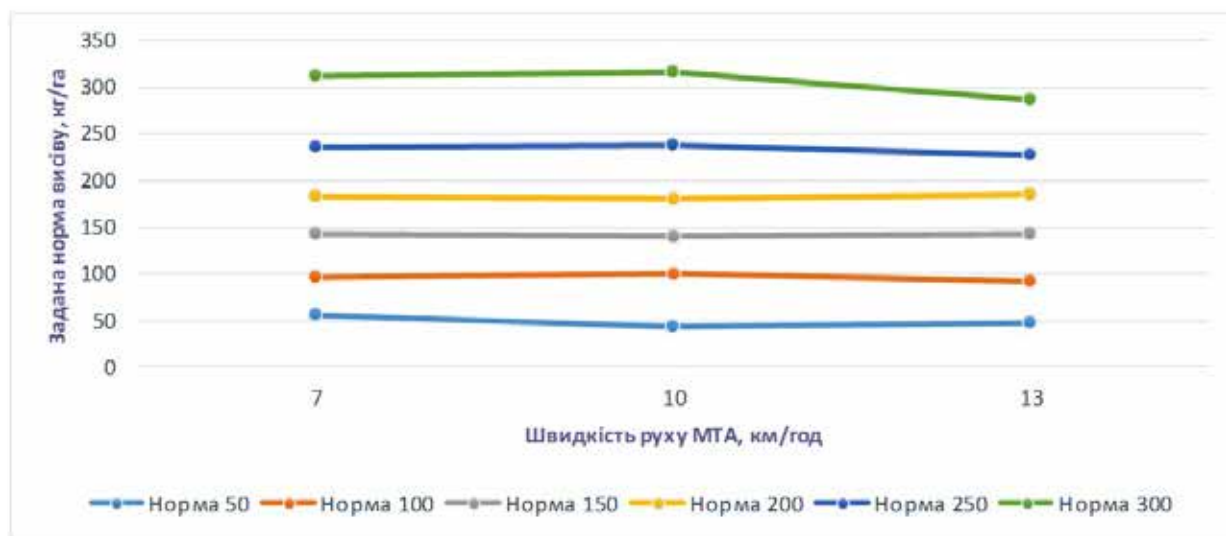


Рис. 5. Залежність норми висіву (кг/га) від поступальної швидкості МТА (км/год) за заданої норми висіву пшениці (кг/га): 50; 100; 150; 200; 250; 300

Зменшення норми висіву за максимально заданих значень та максимальної швидкості МТА відбувається з причини недостатньої потужності електричного приводу і відповідного зменшення його частоти обертання.

Нестабільність підтримання мінімальних норм висіву пов'язана із загальною нестабільністю роботи електромеханічної системи з широтно-імпульсним регулюванням та PID-регулятором.

Висновки

1. Механічні системи керування нормою висіву сівалок не можуть забезпечувати необхідні сучасні агротехнічні вимоги за зміни зовнішніх умов: обмежений захват краєм поля, зміна біохімічних властивостей ґрунту на різних ділянках одного поля, відхилення від прямолінійної траєкторії руху МТА.

2. Використання сучасної елементної бази регульованого електроприводу дає змогу корегувати норми висіву сівалок у процесі роботи.

3. Нестабільність роботи системи висіву на її граничних налаштуваннях за нормою висіву потребує додаткових досліджень з удосконалення елементної бази.

Список використаних джерел

1. Адамчук В.В., Мироненко В.Г., Третяк В.М., Мельник Р.В. Електрифікація як фактор створення мобільної сільськогосподарської техніки нового покоління. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 4. С. 13–16.
2. Баранов Г.Л., Міронова В.Л., Любченко С.Є. Концепція побудови функціонально стійкого аграрного виробництва сільськогосподарської продукції. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технології для сільського господарства України*. 2009. Вип. 13(27). С. 39–49.
3. Вольдек О.І. Електричні машини : підручник. 3-є вид., перероб. Львів : Енергія, 1998. 832 с.
4. Корчемний М.О., Юсупов Н.А., Філоненко А.Ф., Жоров С.В. Електропривод мобільного агрегату. *Електрифікація та автоматизація сільського господарства*. 2003. № 1. С. 41–44.
5. Мироненко В.Г., Тютюнник Н.В. Перспективи використання електрифікованих мобільних агрегатів у рослинництві. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2005. Вип. 89. С. 192–200.
6. Погорілий Л.В., Шустік Л.М., Погорілий В.Л. Технічні та технологічні аспекти розвитку комбінованих зернових сівалок. *Техніка АПК*. 2003. № 2. С. 4–6.
7. Сисолін П.В., Свірень М.О. Висівні апарати сівалок (еволюція конструкцій, розрахунки параметрів). Кіровоград, 2004. 160 с.
8. СОУ 74.3-37-129:2004. Випробування сільськогосподарської техніки. Машини посівні. Методи випробувань. Київ, 2006. 130 с.
9. Панков А.А., Аулін В.В., Чорновіл М.І. Технічні засоби процесу висіву на основі елементів пневмоніки : монографія. Кіровоград : Лисенко В.Ф. 2016. 243 с.
10. Типи електродвигунів та їх використання. Коломия, 2023. URL: <https://tmmotor.ua/ua/news/typy-elektrodvigatelej-i-ih-ispolzovanie?srsId=afm-boooq0fplh3vsrvsn0jthhnjrgrub4plfxqthbuhrpqrvdbmhvideb> (дата звернення: 18.12.2024).

Volskyi V. A.

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Hlevakha, Ukraine*

E-mail: vladimir_volskiy@ukr.net

ORCID: 0000-0002-7639-4216

Kotsiubanskyi R. V.

*Doctor of philosophy,
Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Hlevakha, Ukraine*

E-mail: kocyubanskiy1983@ukr.net

ORCID: 0000-0002-4114-3951

Tretyak V. M.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
State Research Expert Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine
Kyiv, Ukraine*

E-mail: viktor_tretyak@ukr.net

ORCID: 0000-0002-7641-7262

Bonchik V. S.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Ecological and General Biological Disciplines,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine*

E-mail: vitaliy-bonchik@ukr.net

ORCID: 0000-0001-9155-2465

ANALYSIS OF THE USE OF ELECTRIC DRIVE IN DOSING ELEMENTS OF SEEDERS

Abstract

The article proposes and tests new approaches to the creation of equipment that best meet modern requirements, facilitating the solution of basic problems of mechanization of field work. It is proven that the use of a controlled electric drive in conditions of intensive saturation of mobile agricultural units with information technology and automation tools opens up the possibility of creating new-generation equipment with a high level of adaptation to agrotechnical requirements in plant growing, which allows to significantly increase the profitability of agricultural production.

When sowing, the set sowing norms are often violated, seeds are unevenly distributed over the sowing area or row, and control of quantitative tolerances for deviations in distances between seeds is violated. In this regard, a mutual oppression effect occurs, in which plants do not receive a sufficient amount of nutrients due to the close location of root systems, which subsequently reduces the yield and quality of the resulting seeds.

Modern development of the element base of the electric power drive and its control systems allows to obtain the necessary accuracy of technological processes at a low cost. Rapid implementation of positioning and geolocation systems allows to implement them in agricultural technologies of plant growing with the necessary profitability. One of the main technological operations on which the profitability of production in plant growing depends is sowing. Therefore, the world's leading companies are engaged in improving seeding complexes in order to improve the quality of sowing and obtain better yields.

Based on the analysis of world experience, methods are proposed for determining design requirements for the implementation of an adjustable electric drive for seeding units for operational control of changes in seeding rates with maximum use of domestic components.

The seeding unit drives rotate the working elements by direct connection with the seeder wheel via mechanical transmissions. Mechanical boxes with a fixed set of gear transmissions or belt variators with a set range of transmission ratio adjustment are used to adjust the seeding rate.

Mechanical drives have a number of disadvantages: rigid connection with the seeding unit without compensation for towing of the seed drill wheels and jerks during movement, slippage of the variator belt. The greatest impact of these disadvantages is manifested when the MTA operator does not observe a stable speed mode when performing the technological operation of sowing.

The elimination of the negative impact of mechanical transmissions on the seeding unit is possible by eliminating direct communication with the seeder wheel and using elements with numerical control in the drives, which will coordinate the speed of

movement of the seeder with the rotation frequency of the seeding unit, taking into account the changing towing coefficient of the properties of all processes.

Thus, the research and development of technical means for the implementation of high-quality sowing of grain crop seeds is a relevant and practically significant task.

Key words: adjustable electric drive, machine and tractor unit, seeding apparatus, seeding complex.

References

1. Adamchuk V.V., Mironenko V.G., Tretyak V.M., & Melnik R.V. (2013) *Elektryfikatsiia, yak faktor stvorennia mobilnoi silskohospodarskoi tekhniki novoho pokolinnia [Electrification as a factor in creating a new generation of mobile agricultural machinery. Scientific and theoretical journal «Bulletin of Agrarian Science»]*. Kyiv: No. 4. 13–16 p. [in Ukrainian].
2. Baranov G.L., Mironova V.L., & Lyubchenko S.E. (2009). *Kontseptsiiia pobudovy funktsionalno stiikoho ahrarnoho vyrobnytstva silskohospodarskoi produktsii [The concept of building a functionally sustainable agricultural production of agricultural products]*. – UkrNIIPVD im. L. Pogorelogo. 13(27). P. 39–49. [in Ukrainian].
3. Vol'dek O.I. (1998). *Elektrychni mashyny [Electric cars]*. Lviv: Energia. [in Ukrainian].
4. Korchemny M.A., Yusupov N.A., Filonenko A.F., & Zhorov S.V. (2003). *Elektropryvod mobilnoho ahrehatu [Electric drive of mobile unit]*. No. 1. P. 41–44. [in Ukrainian].
5. Mironenko V.G., & Tyutyunnik N.V. (2005). *Perspektyvy vykorystannia elektryfikovanykh mobilnykh ahrehativ u rosllynnytstvi [Prospects for the use of electrified mobile units in crop production]*. 89. P. 192–200. [in Ukrainian].
6. Pogorely L.V., Shustik L.M., & Pogorely V.L. (2003). *Tekhnichni ta tekhnolohichni aspekty rozvytku kombinovanykh zernovykh sivalok [Technical and technological aspects of the development of combined grain seed drills]*. No. 2, P. 4–6. [in Ukrainian].
7. Sysolin P.V., & Sviren N.A. (2004). *Vysivni aparaty sivalok (evoliutsiia konstrukttsii, rozrakhunky parametriv) [Seeding units of seed drills (evolution of designs, calculations of parameters)]*. Kirovograd, 160 p. [in Ukrainian].
8. *Vyprobuvannia silskohospodarskoi tekhniki. Mashyny posivni. Metody vyprobuvan [Testing of agricultural machinery. Seeding machines. Test methods]* (2006). *SOU 74.3-37-129:2004*. Kyiv. [in Ukrainian].
9. Pankov A.A., Aulin V.V., & Chernovol M.I. (2016). *Tekhnichni zasoby protsesu vysivu na osnovi elementiv pnevmoniky [Technical means of the seeding process based on elements of pneumonics]*. Kirovograd, 243 p. [in Ukrainian].
10. *Typy elektrodyhuniv ta yikh vykorystannia [Types of electric motors and their uses]* Kolomyia, 2023. URL: <https://tmmotor.ua/ua/news/tipy-elektro-dvigatelej-i-ihispolzovanie?srsltid=afmbooq0fplh3vsrvsn0jthhnjrgrub4plfx-qthbuhrpqrqvdmbmhvideb> (data zvernennia: 18.12.2024) [in Ukrainian].