

УДК 631.35.05

## СИНХРОНІЗАЦІЯ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТУ ТА КОМБАЙНА ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ СПІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ РОСЛИННИЦТВА

Подригало М.А., Артёмов М.П., д. т. н., проф.,  
Шуляк М.Л., к.т.н., доц., Берладін Д.В., магістр

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)*

*Виявлені причини ушкоджень та безповоротних втрат рослин під час збирання та встановлені заходи для їх зменшення. Розглянуті методи синхронізації руху транспортного агрегату та комбайна під час виконання спільних технологічних операцій рослинництва. Запропонований комплекс синхронізації, що дозволяє зменшити вплив людського чинника на рух транспортного агрегату.*

**Вступ.** Рух і робота агрегату відбуваються в результаті взаємодії сил, що діють на агрегат, рушійна сила, яку створює енергетичний засіб спрямована на подолання сил опору, що складаються з зусиль, виникаючих при корисній роботі машин-знарядь (зріз рослин, їх підбір, транспортування і т.д.), терті в механізмах ходової системи агрегату, деформації ґрунту при пересуванні агрегату по полю та ін.

Під час виконання багатьох технологічних операцій пов'язаних зі збиранням та подальшим транспортуванням продуктів рослинництва транспортні агрегати працюють сумісно з комбайнами. Така робота пов'язана з втратами урожаю із-за недостатнього ступеню синхронізації елементів збирального комплексу.

**Аналіз публікацій.** В роботі [1, 2] розглянутий технологічний процес збирання коренеплодів; зазначено, що при падінні з висоти 15-20% коренеплодів зазнають ушкоджень; також частина коренеплодів внаслідок порушення синхронності руху збирального комплексу, а також розкиду траєкторії польоту коренеплодів після сходу їх з транспортера, потрапляє за межі кузова транспортного засобу - ці коренеплоди складають безповоротні втрати. Вирішенням цього питання є створення автоматичних слідкуючих систем, які описані в роботах [3, 4]. Проте зазначені системи не враховують коливання швидкості транспортного агрегату, яка виникає за рахунок збільшення вантажу рослин. Компенсація таких коливань цілком покладена на водія транспортного засобу, що збільшує кількість безповоротних втрат при його недостатній кваліфікації.

Рушійна сила, що створена двигуном і взаємодією ходової частини з

грунтом, коливається. Це обумовлено коливаннями крутного моменту двигуна, через нерівномірність подачі палива та інших факторів, але головним чином змінами властивостей ґрунту в часі і просторі. Це змінні зчипні властивості ґрунту, її щільність, вологість, різний макро- і мікрорельєф, рослинний покрив і т.і [5]. Ще більше змінюються сили опору пересуванню агрегату внаслідок змінних властивостей оброблюваного матеріалу і неоднорідності властивостей робочих органів машин та їх регулювань. Одночасно відбувається, хоча і більш плавна, зміна приведеної маси агрегату через коливання кутової швидкості обертових мас у функції змінної подачі або властивостей оброблюваного матеріалу, а також зміна наповненості бункерів, банок, насінневих ящиків машин.

За умови, що приведена маса тракторного агрегату змінюється під час виконання технологічної операції, ми маємо рух тіла змінної маси. Рівняння руху має вигляд:

$$\frac{d(m_{ae}V)}{dt} = P_{\kappa} - \sum R_c, \quad (1)$$

Використання методу парціальних прискорень дозволило отримати необхідний закон зміни ефективної потужності двигуна:

$$N_e = V \left[ \frac{dm_e}{dt} \left( V - \dot{V}_c \cdot t \right) - \dot{V}_c (m_{tr} + m_{cx}) \right], \quad (2)$$

де  $V$  – швидкість руху;  $m_{tr}$  – маса трактора;  $m_{cx}$  – маса сільськогосподарської машини;  $m_e$  – маса вантажу;  $\dot{V}_c$  – парціальне прискорення, що створене силою опору коченню.

Також в роботі [6] наведена методика визначення парціального прискорення і швидкість руху за допомогою вимірювального комплексу, що включає датчики лінійних прискорень, знаючи продуктивність комбайна, можна в кожен момент часу розрахувати потрібну потужність двигуна для реалізації режиму синхронного руху комбайна і МТА. Зазначена можливість використовувати програмний пристрій.

**Мета і постановка задачі.** Запропонувати систему автоматичного корегування швидкості компонентів збирального комплексу, спрямовану зменшити вплив людського чинника та кількість безповоротних втрат продуктів рослинництва.

**Основна частина** Розглянемо випадок використання збирального комплексу, транспортний агрегат якого, складається з трактора та причепа. Маса причепа змінюється, при цьому опір руху машини зростає пропорційно зміні маси і для того, щоб зберегти задану швидкість руху МТА необхідно корегувати рушійну (тягову) силу на ведучих колесах.

Рівняння (3) визначає закон зміни тягової сили на ведучих колесах трактора в залежності від зміни маси вантажу:

$$P_k = f \cdot g \cdot (m_{tp} + m_{cx}) + \frac{dm_g}{dt} \cdot (f \cdot g \cdot t + V), \quad (3)$$

де  $f$  – коефіцієнт опору коченню;  $g$  – прискорення вільного падіння.

Крутний момент на валу двигуна, відповідний отриманню необхідної умови  $P_k$  на ведучих колесах трактора:

$$M_e = \frac{P_k r_d}{\eta_{tp}} = \frac{r_d}{\eta_{tp}} \left[ f \cdot g \cdot (m_{tp} + m_{cx}) + \frac{dm_g}{dt} \cdot (f \cdot g \cdot t + V) \right], \quad (4)$$

де:  $r_d$  – динамічний радіус ведучих коліс;  $\eta_{tp}$  – ККД трансмісії.

Для того щоб отримати потрібне значення моменту необхідно контролювати подачу палива в двигуні, за рахунок чого змінювати режими його роботи та отриману ефективну потужність в процесі руху.

Проте слід зазначити, що корегування швидкості на основі прискорення транспортного агрегату:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\frac{N_e}{V} - V \frac{dm_g}{dt}}{m_{tp} + m_{cx} + \frac{dm_g}{dt} \cdot t} + \dot{V}_c^{пав}, \quad (5)$$

в залежності від зміни маси останнього, потрібно проводити з врахуванням того що при розвантаженні бункера комбайна його швидкість, також буде змінюватися пропорційно зміні маси, що призведе до її збільшення відносно початкового значення.

В таких умовах синхронізувати роботу збирального комплексу для виключення безповоротних втрат продуктів рослинництва, не використовуючи автоматичні системи корегування моменту двигуна неможливо.

Аналіз умов функціонування автоматичної системи синхронізації збирального комплексу, розглянемо в загальному випадку (Рис. 1).

Згідно до четвертого закону механіки декілька діючих на матеріальну точку або тверде тіло сил, задають таке прискорення, яке б задала одна сила, що рівна їх геометричній сумі. Сили, що впливають на рух тракторного агрегату в складі трактор (джерело енергії) та причіпний комбайн (споживач енергії) задають рушійну силу  $P_{руш1}$  та прискорення  $a_1$ . Тобто встановивши початкову швидкість  $V_1$  та відстежуючи коливання прискорення ми отримаємо початкові данні для синхронізації збирального комплексу.

Транспортний агрегат має початкову швидкість  $V_2 = V_1$ , за рахунок зміни  $P_{f2}$ , його прискорення  $a_2$  знижується пропорційно збільшенню  $m_g$ , для корегування значень  $a_2$  потрібно збільшити силу  $P_{руш2}$ , збільшуючи момент двигуна рівняння (3), (4). Також повинна виконуватися умова  $V_2 = V_1$ , це можливо тільки при застосуванні часткових швидкісних характеристик, де за рахунок зміни частоти обертання колінчатого валу та моменту двигуна будуть отримані умови синхронного руху двох об'єктів змінної маси.

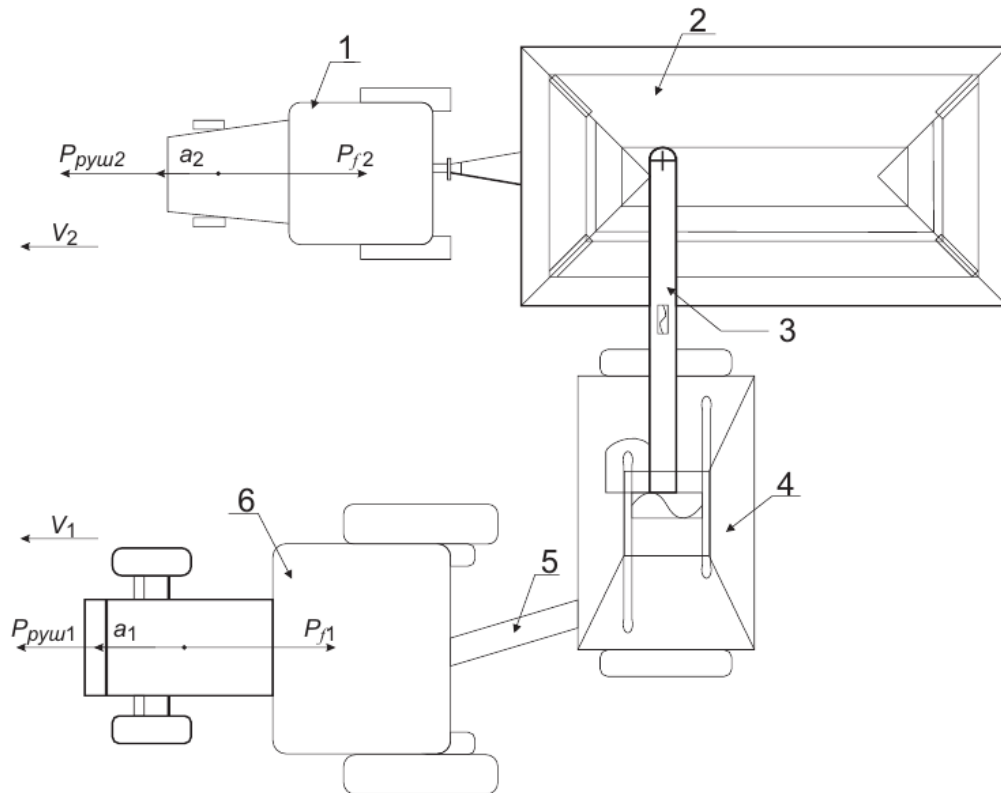


Рисунок 1 – Схема руху збирального комплексу: 1 – трактор, 2 – причіп-бункер, 3 – шнек, 4 – причіпний комбайн, 5 – дисло, 6 – трактор

Для вирішення поставленої задачі розроблений комплекс синхронізації, який під час роботи виконує функції моніторингу та керування (Рис. 2).

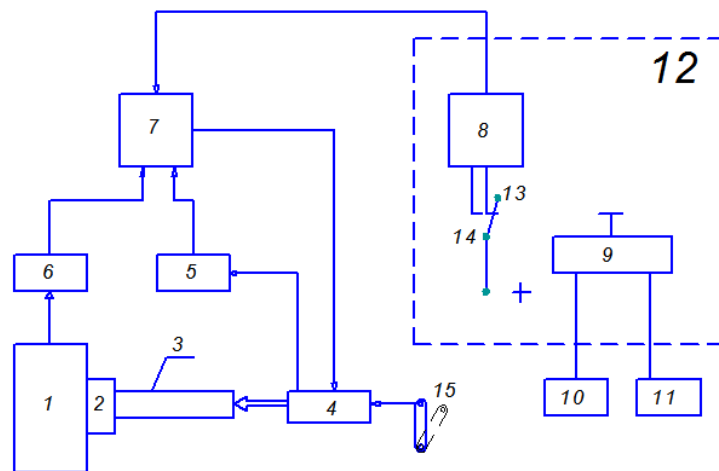


Рисунок 2 – Комплекс синхронізації: 1 – дизель, 2 – система паливоподачі, 3 – рейка паливного насоса, 4 – виконавчий орган, 5 – датчик положення рейки паливного насоса, 6 – датчик кутової швидкості обертання колінчастого валу, 7 – електронний блок, 8 – блок обчислювання, 9 – блок обробки сигналів АСР, 10 – датчик прискорення, 11 – датчик прискорення, 12 – блок логіки, 13 – нормально замкнений контакт, 14 – нормально розімкнений контакт, 15 – важіль ручної подачі палива

При обробці результатів в блоці обчислення 12 на основі даних прискорення  $a_1, a_2$  (датчики 10, 11), приймається рішення о доцільності корегування режиму роботи двигуна, якщо таке необхідне, то електронному блоку 7 надходить команда на зміну режим. Відстежуючи за допомогою датчиків положення рейки 5 та частоти обертання колінчастого валу 6, в електронному блоці 7 приймається рішення спрямоване на зміну частково-швидкісної характеристики за допомогою переміщення рейки паливного насоса. Керуючий орган 4 встановлюється в існуючу систему керування паливоподачею і по своїм функціональним властивостям замінює керування людиною переміщенням важеля акселератора (Рис. 3).

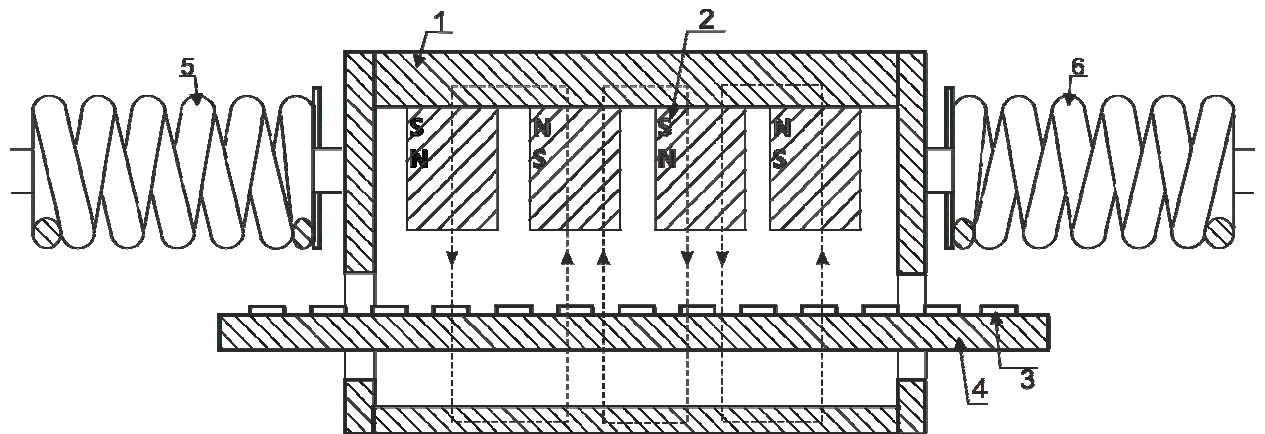


Рисунок 3 – Керуючий орган: 1 – корпус індуктора, 2 – постійні магніти, 3 – печатна схема провідників, 4 – якір, 5, 6 – пружини

Функціонування керуючого органу ґрунтується на роботі лінійного безконтактного двигуна. Сили електромагнітної взаємодії струму якоря 4 з полем збудження індуктора 1 створюють тягове електромагнітне зусилля в площині якоря, яке призводить до поступального переміщення індуктора зі швидкістю  $V$ , пропорційною частоті живлячої напруги  $f$  і довжині полюсного поділу  $t$ :  $V=2tf$ . Магнітне поле, яке рухається уздовж зазору, перетинає провідники обмотки ротора і індукує в них ЕРС, під дією якої по обмотці почнуть протікати струми. Взаємодія струмів з магнітним полем призведе до появи сили, що діє за правилом Ленца, в напрямку переміщення магнітного поля :

$$\varepsilon^{ind} = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (6)$$

Управління переміщенням здійснюється системою автоматичного керування і регулювання шляхом зміни частоти напруги й сили струму в обмотках двигуна. Пружини 5, 6 врівноважують одна одну, та при відсутності керуючих імпульсів від блоку синхронізації, виключають вплив на ручне керування.

Лінійний електродвигун служить для безпосереднього перетворення електричної енергії в енергію поступального руху, виключаючи необхідність механічної передачі; безпосередньо переміщує рейку паливного насоса, що дозволяє з великою точністю змінювати режими роботи двигуна. Запропонована система характеризується простотою в експлуатації, великим ресурсом та точністю керування.

### Висновки

1. Використання розробленого комплексу зменшить витрату енергії агрегату, знизить навантаження на водія і дозволить майже повністю виключити безповоротні втрати продуктів збирання.

2. Розроблений комплекс синхронізації може використовуватися як система моніторингу з вимкненим керуючим органом не заважаючи ручному керуванню трактора, так і як керуюча система повністю виключаючи вплив людини на керування прискоренням та швидкістю транспортного агрегату.

3. Використання в конструкції керуючого органу лінійного електродвигуна дозволить виключаючи необхідність механічної передачі та безпосередньо переміщувати рейку паливного насоса, як наслідок з великою точністю змінювати режими роботи двигуна.

### Список літератури

1. Справочник по эксплуатации свеклоуборочных комплексов / А.М. Мазуренко, И.И. Русанов, В.И. Сухомлин и др.; Под ред. А.М. Мазуренко. – К.: Урожай, 1984. – 128 с.

2. *Никитин С.Н.* Математическая модель автоматических манипуляторов для сортировки, сепарации и выгрузки картофеля на уборочном комбайне /С.Н. Никитин, К.Б.Цаллагов, С.К. Майрамуков // Сб. научн. тр. Автоматизация технологических процессов в полеводстве, т. 10, ВИМ, М., 19785, – 176 с.

3. *Корчмарь И.Б.* Устройство автоматического управления процессом загрузки кузова транспортного средства / И.Б. Корчмарь, С.А. Лебедев, С. А. Поляшенко и др. Пат. № 19940 Россия, МКИ А01В 69/00 "№ 4938674/15; Заявлено 24. 03. 91; Оpubл. 30. 09. 94, Бюл. № 18.

4. *Лебедев А.Т.* Система автоматического керування вивантажувальним транспортером коренеклубнезбиральної машини/А.Т. Лебедев, С.А. Поляшенко // Декл. пат. № 71849 Україна, МКИ А01В69/00, № 20031213156; Заявлено 30. 12. 2003; Оpubл. 15. 12. 2004, Бюл. № 12.

5. *Костюченков Н.В.* Эксплуатационные свойства мобильных агрегатов / Н.В. Костюченков, А.М. Плаксин ; Под ред. А. М. Плаксина.– Астана: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2010. – 204 с.

6. Подригало М.А. Повышение эффективности работы сельскохозяйственного уборочного комплекса на основе синхронизации движения агрегатов / М.А. Подригало, А.Т. Лебедев, В.С. Кисель // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ: – Х.: ХНТУСГ, 2011. Вип. 107 – С. 43 – 53.

#### Аннотация

### СИНХРОНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА И КОМБАЙНА ВО ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОБЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Подригало М.А., Артёмов М.П., Шуляк. М.Л., Берладін Д.В.

*Выявлены причины повреждений и безвозвратных потерь растений при уборке и установлены меры для их уменьшения. Рассмотрены методы синхронизации движения транспортного агрегата и комбайна при выполнении совместных технологических операции растениеводства. Предложен комплекс синхронизации, который позволяет уменьшить влияние человеческого фактора на движение транспортного агрегата.*

#### Abstract

### SYNCHRONIZATION TRAFFIC OF TRANSPORT UNIT AND HARVESTER DURING THE PERFORMANCE OF COMMON TECHNOLOGICAL OPERATIONS OF CROP GROWING

M.Podrigalo, N. Artiomov, M. Shulyak, D. Berladin

*Discovered the causes of damage and irretrievable losses of plants in the harvesting and set out measures to reduce them. The methods for synchronizing the movement of the transport unit and harvester in carrying out joint technological operation of plant growing. The proposed set of synchronization that allows you to reduce the impact of human factors on the transport unit.*