

**О.К. Дідик, канд. техн. наук, М.С. Віхрова, асист.**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Ідентифікація параметрів динаміки руху зернозбирального комбайну за даними експерименту

За результатами експериментального дослідження гальмівних систем зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич», проведеного на базі Південно-Української філії УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, одержано функціональну залежність гальмівного шляху комбайна від початкової швидкості, маси, гальмівного зусилля і коефіцієнта динаміки комбайна та визначені динамічні характеристики прямолінійного руху зернозбирального комбайна.  
**зернозбиральний комбайн, динамічні характеристики, прямолінійний рух**

**Постановка проблеми.** Для підвищення ефективності збору урожаю та зменшення втрат зерна необхідно управляти швидкістю руху комбайна з метою підтримання на оптимальному рівні продуктивності роботи комбайна. На швидкість руху комбайну, а відповідно і на продуктивність, впливає багато факторів. Комбайнер не в змозі одночасно контролювати їх та підтримувати оптимальне значення швидкості, тому виникає необхідність розробки автоматичної системи управління швидкістю руху комбайна. Для розробки такої системи потрібно оцінити динаміку комбайна та визначити параметри диференційного рівняння, що описує його рух.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В статті [1] наведені результати експериментального дослідження гальмівних систем зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич». При обробці результатів експерименту, з деякими припущеннями, рух комбайну розглядався як рівносповільнений, але аналіз літературних джерел [2-4], в яких описується рух колісних машин, показав, що така модель комбайна не враховує всі сили, задіяні під час руху, та не достатньо точно описує його динамічні характеристики.

**Мета статті.** Ідентифікація параметрів передаточної функції, що описує прямолінійний рух за результатами експериментального дослідження гальмівних систем зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич».

**Основні матеріали досліджень.** В статті [1] зазначено, що в якості об'єкта досліджень вибрано зернозбиральний комбайн КЗС-9 «Славутич» загальною масою  $m = 17135$  кг. Комбайн має гідростатичну трансмісію ГСТ-112, 4-діапазонну механічну трансмісію моста ведучих коліс, фрикційні дискові гальмівні механізми між коробкою діапазонів і бортовими редукторами, з гідравлічним приводом від педалей управління, без систем підсилення. Комбайну надавалась постійна за величиною початкова швидкість  $V_0 = 6,94$  м/с (25 км/год), яка відповідає максимальній проектній швидкості комбайна. Передача коробки діапазонів – 4 (транспортна). Швидкість повітря – 0,7-3,8 м/с. Покрытие випробувальної площадки – бетонне. Робоче гальмування виконувалося: гідростатичною трансмісією та комбінованим гальмуванням, при зусиллях 200 – 600 Н, які були прикладені до заблокованих педалей фрикційних гальм. При проведенні

експерименту, для різних значень зусилля на фрикційних гальмах вимірювався гальмівний шлях. Результати дослідження ефективності гальмування комбайна наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження ефективності гальмування комбайна КЗС-9 гідростатичною трансмісією і фрикційними гальмами одночасно

Характеристика	Значення характеристики при початковій швидкості гальмування $V_0 = 6,94$ м/с (25 км/год)					
	200	250	300	400	500	600
Зусилля прикладене до заблокованих педалей фрикційних гальм, Н						
Гальмівний шлях, м	17,35	16,82	15,75	12,27	9,53	7,96

Як відомо з [2], рівняння прямолінійного руху колісної машини може бути представлено у вигляді

$$m_M \delta_M \frac{dV_M}{dt} = \frac{M_D u_{TP} \eta_{TP}}{r_K} - P_C, \quad (1)$$

де  $m_M$  – маса машини;

$\delta_M$  – коефіцієнт приведеної маси;

$V_M$  – швидкість машини;

$M_D$  – момент на валу двигуна;

$u_{TP}$  – передаточне число трансмісії;

$\eta_{TP}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

$r_K$  – радіус колеса;

$P_C$  – сума зовнішніх та внутрішніх сил.

Для випадку гальмування комбайну складову, пов'язану з моментом на валу двигуна, можна замінити гальмівним зусиллям  $F$ , а суму зовнішніх та внутрішніх сил  $P_C$  (сила опору повітря, сила опору коченню, моменти опору коченню та ін.), яка є функцією швидкості руху комбайну, можна замінити з деяким наближенням добутком  $k \cdot V$ , де коефіцієнт  $k$  є характеристикою динаміки комбайну, який необхідно визначити. Якщо знехтувати інерційністю коліс та елементів трансмісії ( $\delta_M = 1$ ), то рівняння руху комбайну при гальмуванні матиме наступний вигляд

$$m \frac{dV}{dt} = -F - k \cdot V. \quad (2)$$

Враховуючи початкові умови в момент часу  $t = 0$ : прискорення  $\frac{dV_0}{dt} = 0$ , початкова швидкість  $V_0 = 6,94$  м/с, відстань  $S_0 = 0$ , виконаємо інтегрування рівняння (2) та в результаті одержимо вираз для швидкості руху комбайну

$$V = -\frac{F}{k} + \left( V_0 + \frac{F}{k} \right) e^{-\frac{k \cdot t}{m}}. \quad (3)$$

Оскільки  $V = \frac{dS}{dt}$ , то, виконавши інтегрування виразу (3), одержимо рівняння для визначення шляху

$$S = \frac{V_0 m}{k} + \frac{F m}{k^2} - \frac{F}{k} t - \left( \frac{V_0 m}{k} + \frac{F m}{k^2} \right) e^{-\frac{k \cdot t}{m}}. \quad (4)$$

Так як за результатами експерименту відомий лише гальмівний шлях, тому необхідно визначити час, за який комбайн зупиниться. Для цього у вираз (3) підставимо значення  $V = 0$  та знайдемо час зупинки.

$$t_3 = -\frac{m}{k} \ln \left( \frac{1}{\frac{V_0 k}{F} + 1} \right). \quad (5)$$

Якщо підставити вираз (5) у формулу (4), матимемо шлях, який пройде комбайн до повної зупинки

$$S_3 = \frac{V_0 m}{k} + \frac{F m}{k^2} \ln \left( \frac{1}{\frac{V_0 k}{F} + 1} \right). \quad (6)$$

Отже, в результаті одержано функціональну залежність гальмівного шляху комбайна від початкової швидкості  $V_0$  і маси комбайну  $m$ , які відомі, та гальмівного зусилля  $F$  і коефіцієнту  $k$ , що характеризує динаміку комбайна, які необхідно визначити. Функціонально виразити шукані невідомі через гальмівний шлях неможливо, тому необхідно застосовувати інші математичні методи для розв'язання даної задачі.

При проведенні експерименту були одержані шість значень гальмівного шляху при різних значеннях зусилля на гальмах, а так як комбайн використовувався один та зовнішні умови практично не змінювались, тому можна вважати, що коефіцієнт  $k$  для всіх випробувань залишався незмінним.

Для визначення коефіцієнту  $k$  та гальмівних зусиль  $F$  при різних значеннях гальмівного шляху  $S_3$  була розроблена програма в середовищі Matlab. Варіюванням шуканих параметрів в широких межах, підбирались такі значення, при яких різниця розрахованого значення гальмівного шляху та визначеного експериментально досягала мінімуму для всіх шести випробувань. Результати розрахунків зведені в таблицю 2. На рисунках 1 та 2 зображені графіки зміни швидкості руху та пройдений шлях до повної зупинки комбайна для значень першого випробування.

Таблиця 1 – Результати розрахунків динамічних параметрів комбайна

Характеристика	Значення характеристики при початковій швидкості гальмування $V_0 = 6,94$ м/с (25 км/год)					
	1	2	3	4	5	6
Гальмівний шлях, м	17,35	16,82	15,75	12,27	9,53	7,96
Сумарна сила гальмування $F$ , кН	21,84	22,6	24,26	31,69	41,35	49,89
Коефіцієнт $k$ , кг/с	423					

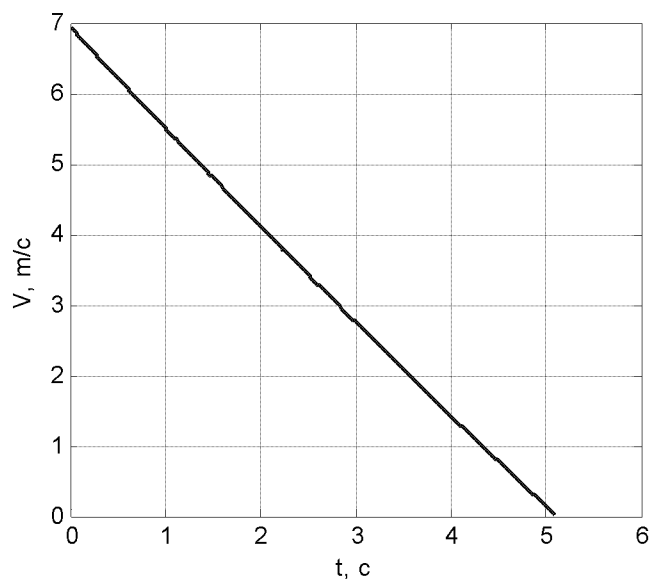


Рисунок 1 – Графік зміни швидкості руху комбайну при гальмуванні

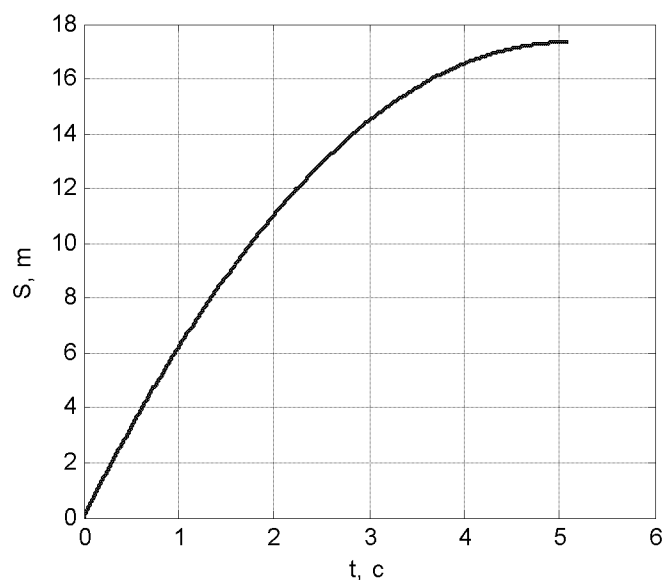


Рисунок 2 – Графік пройденого шляху до повної зупинки комбайну

**Висновок.** В результаті проведених розрахунків на основі експериментальних досліджень, виконаних на базі Південно-Української філії УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, визначені динамічні характеристики прямолінійного руху зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич».

### Список літератури

1. Митрофанов О. Дослідження характеристик та особливостей взаємодії гальмівних систем самохідних сільгоспмашин з гідростатичним приводом ведучих коліс. // Зб. наук. праць УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – Вип.12(26).– Дослідницьке: УкрНДПВТ, 2008. – С.347-351.
2. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин: Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
3. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель. /Под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
4. Аксенов П.В. Многоосные автомобили. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.

*А. Дидык, М. Вихрова*

**Идентификация параметров динамики движения зерноуборочного комбайна по данным эксперимента**

По результатам экспериментального исследования тормозных систем зерноуборочного комбайна КЗС-9 «Славутич», проведенного на базе Южно-Украинского филиала УкрНИИПВТ им. Л. Погорелого, получена функциональная зависимость тормозного пути комбайна от начальной скорости, массы, тормозного усилия и коэффициента динамики комбайна и определены динамические характеристики прямолинейного движения зерноуборочного комбайна.

*O. Didyk, M. Vihrova*

**Authentication of parameters of motion dynamics of combine harvester from experiments data**

On results experimental research of the brake systems of combine harvester KZS-9 «Slavutich», the conducted South-Ukrainian branch on a base UkrNIPVT the name of L. Pogorelogo, is collected functional dependence of braking distance of combine from initial velocity, mass, brake effort and coefficient of dynamics of combine and dynamic descriptions of rectilinear motion of combine harvester are definite.

Одержано 25.09.09