

УДК 631.354.2:338.12:001.8

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗК ВІД МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ ЗЕРНА ЗА МОЛОТИЛЬНО- СЕПАРУВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ (МПС) КОМБАЙНІВ

О. Демко, А. Демко, канд. техн. наук, **О. Надточій**, канд. техн. наук,
Р. Якимів, канд. техн. наук,
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Запропоновано теоретичну залежність продуктивності зернозбиральних комбайнів від механічних втрат, що виникають за молотильно-сепарувальним пристроєм. Визначено характеристичну залежність пропускної здатності ЗК від терміну жнив через коефіцієнт осипання зерна, та граничного значення втрат за МСП.

Ключові слова: *продуктивність, пропускна здатність, осипання зерна, молотильно-сепарувальний пристрій.*

Суть проблеми. Відомо, що продуктивність зернозбиральних комбайнів (ЗК) залежить від впливу об'єктивних і суб'єктивних чинників. Узагальнюючою конструкційно-технологічною характеристикою потенційної продуктивності ЗК слугує завантаження (МПС) через показник пропускної здатності (кг/с). В останні роки виробники ЗК в технічній документації перестали надавати конструкційно, технічно, технологічно обґрунтовані показники пропускної здатності і показують числові значення намотів чистого зерна.

В розрахункових формулах числових значень робочих швидкостей і продуктивності ЗК входить показник пропускної здатності. За відсутності показника пропускної здатності нових зразків комбайнів використати формули для розрахунку прогнозованої продуктивності придбаного комбайна не видається можливим. Крім наведеного конструкційно-інформаційного недоліку, є прихований недолік сучасних зернозбиральних комбайнів, які обладнані електронними і комп'ютерними системами для поточного контролю і реєстрації відносних значень механічних втрат зерна за МПС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прикладними дослідженнями [2,3] було виявлено: якщо користуватися бортовими приладами поточного контролю механічних втрат за МСП, які змонтовані в кабіні у вигляді піктограм чи графічних залежностей на панелі приладів для наладки на необхідну продуктивність, то відносне максимальне значення завантаження двигуна сягає 67% від номінального значення. Сама процедура налагодження комбайна на нову ділянку збираної культури передбачає таку послідовність: необхідно оцінити ймовірну урожайність культури, яку передбачається збирати, пройти в загінці 80-100 метрів і налагодити

реєстратор втрат на необхідну чутливість. Коли використовують відносні значення механічних втрат для налагодження чутливості на ймовірну (суб'єктивну, візуально оцінену оператором, урожайність), то помилки неминучі. Крім суб'єктивних ймовірних помилок операторів (комбайнерів), часто агротехнологи, спеціалісти сільгосппідприємств, які контролюють роботу комбайнів в полі, не знаючи фактичного завантаження двигуна, використовують суб'єктивні методи контролю механічних втрат обліком зерна на землі і в соломі та часто обмежують робочу швидкість, явно переоцінюючи значимість і вагомість механічних втрат за МСП та недооцінюючи майбутні збитки від осипання через затягування строків жнив. Жнив без втрат не буває. Втрати необхідно розраховувати і прогнозувати перед жнивками, об'єктивно розраховуючи темпи комбайнування в агростроки, аніж підрахувати збитки від втрат, осипання, зниження якості зерна.

Формулювання задач. Пропускна здатність молотарки визначається кількістю хлібної маси, що проходить через молотарку за одиницю часу (кг/с), при співвідношенні зерна до соломи за масою 1:1.5 за нормальних умов комбайнування, коли втрати зерна за МСП не перевищують 1.5 % від валового збору зерна із збираної площі поля.

Пропускна здатність молотарки визначається за емпіричною залежністю [1]:

$$q = \frac{BV_p U}{360} \quad (1)$$

Для комбайнів Дон-1500А, Дон-1500Б, КЗС-9.1 при робочій швидкості в загинці $V_p = 3$ км/год, ширині захвату жатки $B=6$ м, урожайності $U=108$ ц/га, пропускна здатність складе 5.4, хоча виробниками заявлена $q = 9$ кг/с.

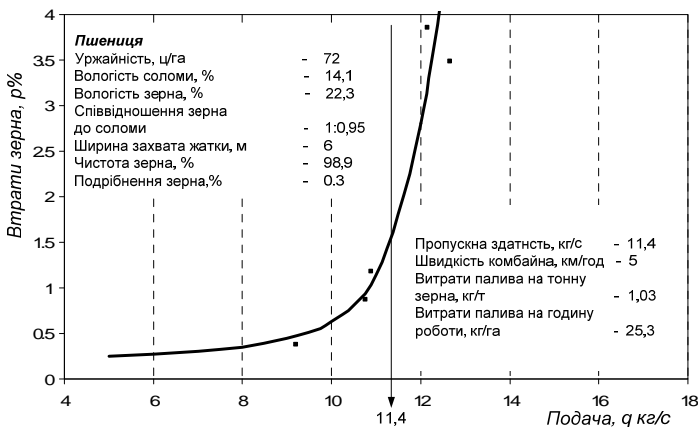


Рисунок 1 – Залежність втрат зерна за молотаркою комбайна «Dominator 108 SL Maxi» від подачі

Вперше вплив подачі хлібної маси в МСП комбайнів на відносні значення механічних втрат за молотаркою показала фірма «Клаас» для комбайна «Dominator 108 SL Maxi» вище приведеною графічною залежністю [5]. Молотарка в заданих умовах спроможна обробити хлібну масу при подачі, більшій 12 кг/с, але при цьому втрати зерна перевищують 2.5 %. Ось чому оптимальною пропускною спроможністю цього комбайна вважається $q=11.4$ кг/с, при якій механічні втрати не перевищують 1.5% нормативних значень від валового збору урожаю збираної культури.

Із графічної залежності (рис. 1) випливає, що до завантаження двигуна хлібною масою 9,4 кг/с механічні втрати не перевищують 0,5 %, а при збільшенні навантаження від 9, до 11,4 кг/с втрати різко підвищуються до 1,5%.

Подібна графічна залежність продуктивності від механічних втрат не знайшла теоретичного обґрунтування. Автори наведеної графічної залежності не приводять паралельно графічну залежність збільшення втрат потужності двигуна на обмолот хлібостою об'ємом 1 кг/с і на її подрібнення, затраченої потужності на рух комбайна.

Виклад основного матеріалу дослідження. Із наведених на рис. 1 характеристик невідомо, за рахунок якого чинника збільшується пропускна здатність, якщо характеристики і зокрема співвідношення зерна до соломи $1:0,95=\text{const}$, ширина захвату жатки = const, швидкість комбайна $V_p = 5$ км/год = const, витрата палива = const .

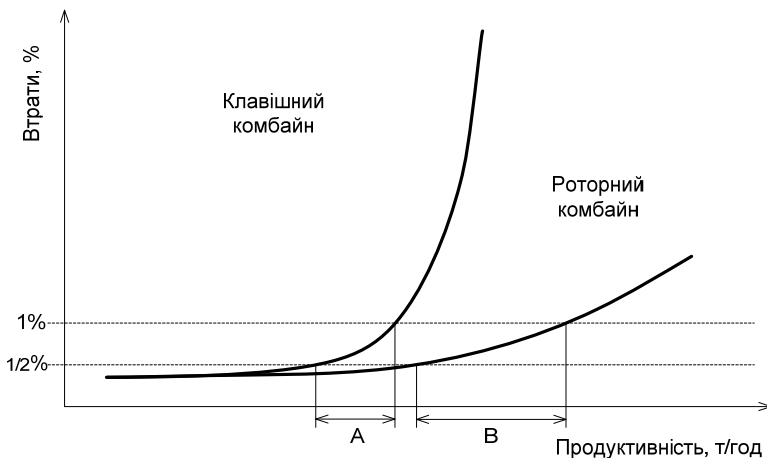


Рисунок 2 – Залежність продуктивності ЗК корпорації АГКО від механічних втрат за МПС комбайнів

Корпорація АГКО в інформаційних проспектах до фірмових комбайнів наводить графічну залежність продуктивності залежно від відносних значень

втрат за молотаркою (рис. 2). В коментарях до рис. 2 наводиться такий текст: «Що означають втрати зерна? Чи можна вести збирання з більшою швидкістю? Допустима величина втрат залежить від поточної ситуації і умов, в яких ведеться збирання. Наприклад може очікуватися зміна погоди, після якої по прогнозу одного-двох тижнів буде йти дощ. У цьому випадку збирання доведеться проводити з більшою швидкістю, щоб зібрати більше зерна, не дивлячись на те, що його втрати збільшаться».

При збиранні комбайнами традиційної конструкційної схеми в міру наближення до межі пропускної здатності сепарувального пристрою механічні втрати різко підвищуються. В результаті підвищення втрат від 0,5 % до 1,0 % отримаємо незначний приріст продуктивності. Оскільки в роторних комбайнах сепарація виконується більш ефективно, приріст продуктивності буде вищий.

За постулатом В.М. Гарячкина [1], природні і фізичні явища та процеси мають три стадії розвитку:

- початкова з позитивним прискоренням (по вигнутій кривій)
- середня по інерції (по прямій або близькій до неї)
- кінцева з від'ємним прискоренням (по випуклій).

В цілому графік такого процесу Гарячкін В.М представив S-подібною інтегральною кривою (рис.3).

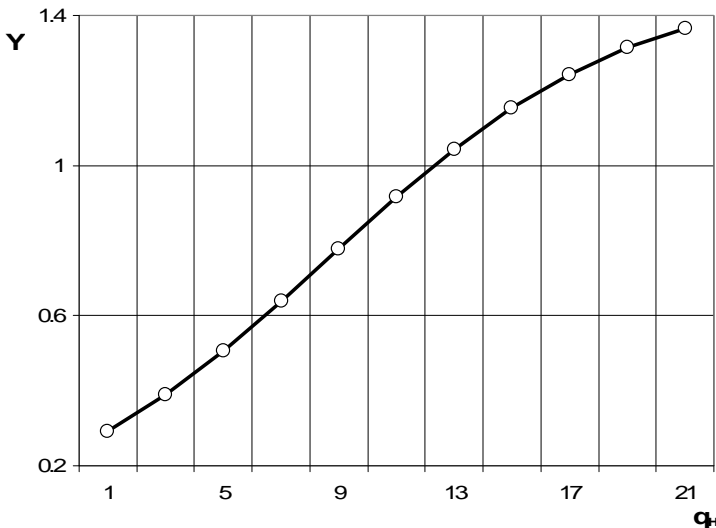


Рисунок 3 – Залежність пропускної здатності ЗК від механічних втрат

Цей фундаментальний постулат має велике значення для оцінки стану динаміки любого процесу, оскільки дає координати його розвитку. Для аналізу процесу Гарячкін В.М розглядає такий вираз:

$$\frac{dx}{dt} = a - x \quad (2)$$

де dx – змінна параметра процесу;

dt – змінна часу;

a – границя (межа) параметра x .

Професор Жалнин Е.Н. показав [2,3], що для робочої характеристики ЗК можна використати постулат Горячкіна В.М для диференціального рівняння з відокремленими коефіцієнтами

$$\frac{dy}{dg} = ky(y_{zp} - y) \quad (3)$$

де y – поточні механічні відносні витрати зерна за МСП ЗК

k – коефіцієнт інтенсивності процесу наростання втрат зерна.

y_{zp} – граничні витрати зерна

g – подача хлібної маси в молотарку, кг/с

Для розв'язання рівняння виконаємо алгебраїчне перетворення:

$$\frac{dy}{ky(y_{zp} - y)} = dg \quad (4)$$

Проінтегруємо обидві частини рівняння:

$$\int dg = \int \frac{dy}{ky(y_{zp} - y)} \quad (5)$$

Розглянемо окремо частину рівняння:

$$\int \frac{dy}{ky(y_{zp} - y)} = \frac{1}{k} \int \frac{dy}{y(y_{zp} - y)} \quad (6)$$

Розкладемо підінтегральний вираз на елементарні дробки:

$$\frac{1}{y(y_{zp} - y)} = \frac{A}{y} + \frac{B}{y_{zp} - y} = \frac{A(y_{zp} - y) + By}{y(y_{zp} - y)} \quad (7)$$

Тоді, прирівнявши чисельники дробів, знайдемо A і B методом невизначених коефіцієнтів:

$$1 = Ay_{zp} - Ay + By \quad (8)$$

Прирівнюючи коефіцієнти при однакових степенях, маємо:

$$\int \frac{dy}{ky(y_{zp} - y)} = \frac{1}{k} \left(\frac{1}{y} + \frac{1}{y_{zp} - y} \right) dy = \frac{1}{ky_{zp}} \int \left(\frac{1}{y} + \frac{1}{y_{zp} - y} \right) dy = \quad (9)$$

$$\frac{1}{ky_{zp}} \left(\frac{1}{ky_{zp}} y - \ln(y_{zp} - y) \right) + C$$

Або в загальному матимемо наступне рівняння:

$$g_u = \frac{1}{ky_{zp}} \left(\ln \frac{y}{y_{zp} - y} + \ln \frac{1}{C} \right) \text{ де } C - \text{ довільна const} \quad (10)$$

$$ky_{zp} g_u = \ln \frac{y}{C(y_{zp} - y)} \text{ тоді} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{y}{(y_{zp} - y)} &= C \exp(ky_{zp} y) \\ y(1 + C \exp(ky_{zp} g)) &= y_{zp} C \exp(ky_{zp} g) \\ y &= \frac{y_{zp} C \exp(ky_{zp} g)}{1 + C \exp(ky_{zp} g)} = \frac{y_{zp}}{1 + C^{-1}(-ky_{zp} g)} \\ y &= \frac{y_{zp} C \exp(ky_{zp} g)}{C + \exp(ky_{zp} g)} \end{aligned} \quad (12)$$

Для початкових умов $y(0) = 0,1\%$, константа C становитиме $C=5$.

Після деяких перетворень 12 отримаємо рівняння:

$$y = \frac{y_{zp} \exp(ky_{zp} g)}{\exp(ky_{zp} g) + C} \quad (13)$$

Враховуючи початкову умову $y(0) = 0,1\%$ і прийнявши $y_{zp} = 1.5\%$; $k=0,125$, для загального рівняння маємо:

$$0.1 = \frac{y_{zp}}{1 + C} \Rightarrow C = 10 y_{zp} - 1 \text{ (визначення константи)} \quad (14)$$

Отже, рівняння в загальному матиме вигляд:

$$y = \frac{y_{zp} \exp(ky_{zp} g)}{\exp(ky_{zp} g) + 10 y_{zp} - 1} \quad (15)$$

Розрахунок рівняння 15 проведемо для значень k (0.125; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0), та значення втрат y_{zp} (1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5). Отримані графічні залежності продуктивності через пропускну здатність МСП та значення втрат зерна показані на рис. 4.

У всіх варіантах дослідження закономірностей зміни механічних втрат від ступеня завантаженості молотарки через пропускну здатність МСП, граничним показником слугує значення втрат зерна за МСП від валового збору урожаю. При досягненні граничного значення механічних втрат в кабіні на дисплеї для оператора висвічується червоний сигнал і звуковий зумер, який слугує візуальним і звуковим обмежувальним фактором для зменшення робочої швидкості і відповідно завантаження молотарки через зменшення пропускну здатності (кг/с).

Графічні залежності показані на рис. 4, не підтверджують закономірність зміни механічних втрат залежно від підвищення завантаження

молотарки (кг/с), приведені на рис. 1, 2. Графічні залежності (рис. 4) зростання механічних втрат зерна із збільшенням завантаженості молотарки в більшій мірі нагадують S-подібну криву, яку передбачив Гарячкін (рис. 3).

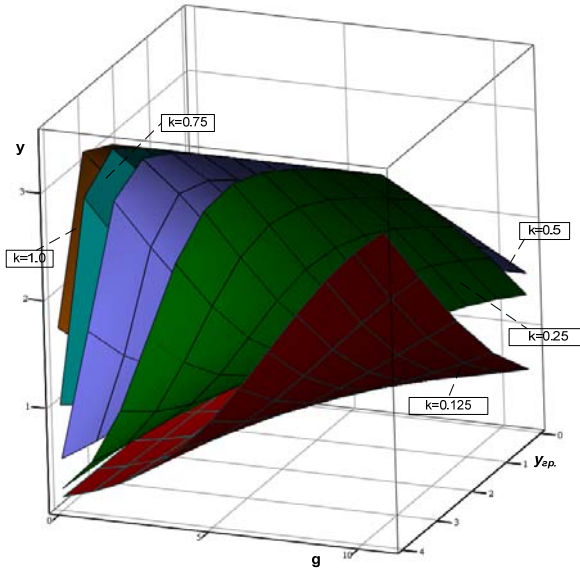


Рисунок 4 – Поверхні закономірностей зміни механічних втрат від ступеню завантаженості молотарки через пропускну здатність МПС

Знайдемо точку перегину для функції, яка вкаже нам навантаження, при якому починає сповільнюватися швидкість зміни y .

Перепишемо функцію у вигляді:

$$y = y_{sp.} (1 + C \exp(-ky_{sp.}g_n))^{-1}, \text{ тоді}$$

$$y' = y \frac{C \exp(-ky_{sp.}g_n) \cdot (ky_{sp.})}{(1 + C \exp(-ky_{sp.}g_n))^2} = Cky_{sp.}^2 \frac{\exp(-ky_{sp.}g_n)}{(1 + C \exp(-ky_{sp.}g_n))^2};$$

$$y'' = Cky_{sp.}^2 \frac{\exp(-ky_{sp.}g_n) \cdot (-ky_{sp.}) \cdot (1 + C \exp(-ky_{sp.}g_n))^2 - 2(1 + C \exp(-ky_{sp.}g_n)) \cdot C \exp(-ky_{sp.}g_n) \cdot (-ky_{sp.}) \cdot \exp(-ky_{sp.}g_n)}{(1 + C \exp(-ky_{sp.}g_n))^4} =$$

$$= Ck^2 y_{sp.}^3 \exp(-ky_{sp.}g_n) \frac{(1 + C \exp(-ky_{sp.}g_n)) - 2C \exp(-ky_{sp.}g_n)}{(1 + C \exp(-ky_{sp.}g_n))^3} =$$

$$= Ck^2 y_{sp.}^3 \exp(-ky_{sp.}g_n) \frac{1 - C \exp(-ky_{sp.}g_n)}{(1 + C \exp(-ky_{sp.}g_n))^3}$$

(17)

$y'' = 0$, отже маємо:

$$1 - C \exp(-ky_{zp}g_n) = 0 \text{ або } \exp(ky_{zp}g_n) = C \quad (18)$$

$$ky_{zp}g_n = \ln(C), \text{ а звідси } g_n = \frac{\ln(C)}{ky_{zp}} - \text{точка перегину} \quad (19)$$

$$\text{Якщо } y(0) = 0.1\%, \text{ тоді } g_n = \frac{\ln(10y_{zp} - 1)}{ky_{zp}} \quad (20)$$

Врахувавши ті ж самі значення коефіцієнта осипання зерна та граничного значення втрат за МСП, була побудована поверхня розподілу пропускної здатності (рис. 5).

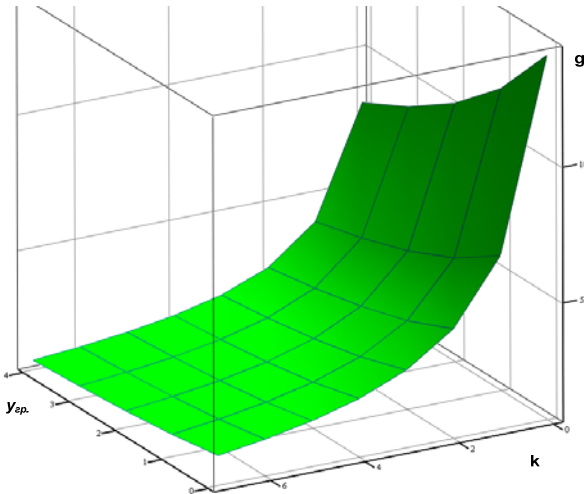


Рисунок 5 – Характеристична залежність пропускної здатності від коефіцієнта осипання зерна (k) та граничного значення втрат за МСП

Висновки. Теоретичні дослідження зміни продуктивності від механічних втрат дозволяють зробити такі висновки:

1. Графічна залежність показана на рис. 1, 2, може мати місце, коли зернові культури дозріли і знаходяться в стані «спокою» в межах 5-6 діб агростроків жнив, коли натуральне осипання знаходиться в межах 0,01-0,05 % від валового збору по прогнозованій площі для збирання за умови, що культура дозріває одночасно. Закони агробіології стверджують, що 4-5 мільйонів стебел озимої пшениці, які знаходяться на 1 га площі, не можуть одночасно дозріти, тобто початковий коефіцієнт натурального осипання більше 0.1% від валового збору, тому графічна залежність продуктивності від механічних втрат подібна до показаної на рис. 1, 2.

2. За аналітичними виразами 15 досліджено залежність продуктивності від допустимих механічних втрат за МПС комбайнів (рис.4).

3. Аналітично досліджено точку перегину кривих продуктивності через пропускну здатність залежно від прийнятих числових значень коефіцієнта наростання втрат і відносних значень граничних втрат.

Література

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений. – Т. 1. Изд-во 2-е. – М.: «Колос» – 1968 – 720 с.

2. Жалнин Э.В. Развитие учения В.П. Горячкина в области зерноуборочной техники «Техника в сельском хозяйстве». – 2004 – № 6 – с. 23-30.

3. Жалнин Э.В., Жикинбаев М.Ш., Пьянов В.С. О переводе физических зерноуборочных комбайнов в эталонные. «Тракторы и сельхозмашины» – 2009 – № 6 – с. 37-40.

4. Маслов Г.Г. Методика комплексной оценки эффективности сравниваемых машин. – Тракторы и сельхозмашины – 2009 – №10 – с. 31-33.

5. Демко А.А., Надточий О.В., Демко О.А. Динамическая модель расчета пропускной способности молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна. – Сб ст. международной научно-практической конференции "техника будущего: перспективы развития сельскохозяйственной техники". – ВПО "Кубанский ГАУ" – 2013 – с. 30-34.

Аннотация

Предложена теоретическая зависимость производительности зерноуборочных комбайнов от механических потерь, возникающих за молотильно-сепарирующим устройством. Определена характеристическая зависимость пропускной способности ЗК от длительности уборки через коэффициент осыпания зерна и предельного значения потерь за МСУ.

Summary

The theoretical dependence of combine harvesters performance on mechanical losses arising on threshing-separating device is proposed. Characteristic dependence of harvester throughput on harvest durability through the grain shedding factor and threshing-separating device threshold losses value is defined.