

## МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ

УДК 631.56.1

### ВПЛИВ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ ЗЕРНА ЗА МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ КОМБАЙНІВ НА ЇХ ПРОДУКТИВНІСТЬ

*В.О. Дубровін, доктор технічних наук*

*О.А. Демко, аспірант\**

*А.А. Демко, О.В. Надточій, кандидати технічних наук*

*Р.Я. Якимів, кандидат фізико-математичних наук*

*Запропонована теоретична залежність продуктивності зернозбиральних комбайнів від механічних втрат, що виникають за молотильно-сепаруючим пристроєм. Визначено характеристичну залежність пропускної здатності ЗК від терміну жнив через коефіцієнт осипання зерна, та граничного значення втрат за МПС.*

***Продуктивність, пропускна здатність, осипання зерна, молотильно-сепаруючий пристрій.***

**Постановка проблеми.** Відомо, що продуктивність зернозбиральних комбайнів (ЗК) залежить від впливу об'єктивних і суб'єктивних факторів і чинників. Узагальнюючою конструктивно–технологічною характеристикою потенційної продуктивності ЗК слугує завантаження (МПС) через показник пропускної здатності (кг/с). В останні роки виробники ЗК в технічній документації перестали надавати конструктивно, технічно, технологічно обґрунтовані показники пропускної здатності і показують числові значення намолотів 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 представляється можливим. Крім наведеного конструктивно-інформаційного недоліку є скритий недолік сучасних зернозбиральних комбайнів, які обладнані електронними і комп'ютерними системами для поточного контролю і реєстрації відносних значень механічних втрат зерна за МПС.

**\*Науковий керівник – доктор технічних наук В.О. Дубровін**

© В.О. Дубровін, О.А. Демко, А.А. Демко, О.В. Надточій, Р.Я. Якимів, 2014

**Аналіз останніх досліджень.** 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 тах значення завантаження двигуна сягає 67% від номінального значення. Сама процедура наладки комбайна на нову ділянку збираної культури передбачає наступну 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 наладки 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, і 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, через об'єктивні розрахунки темпів комбайнування в агростроки, чим підраховувати збитки від втрат, осипання, зниження якості зерна.

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 загінці  $V_p = 3$  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.

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 пропускну спроможністю даного 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) витікає, 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%.

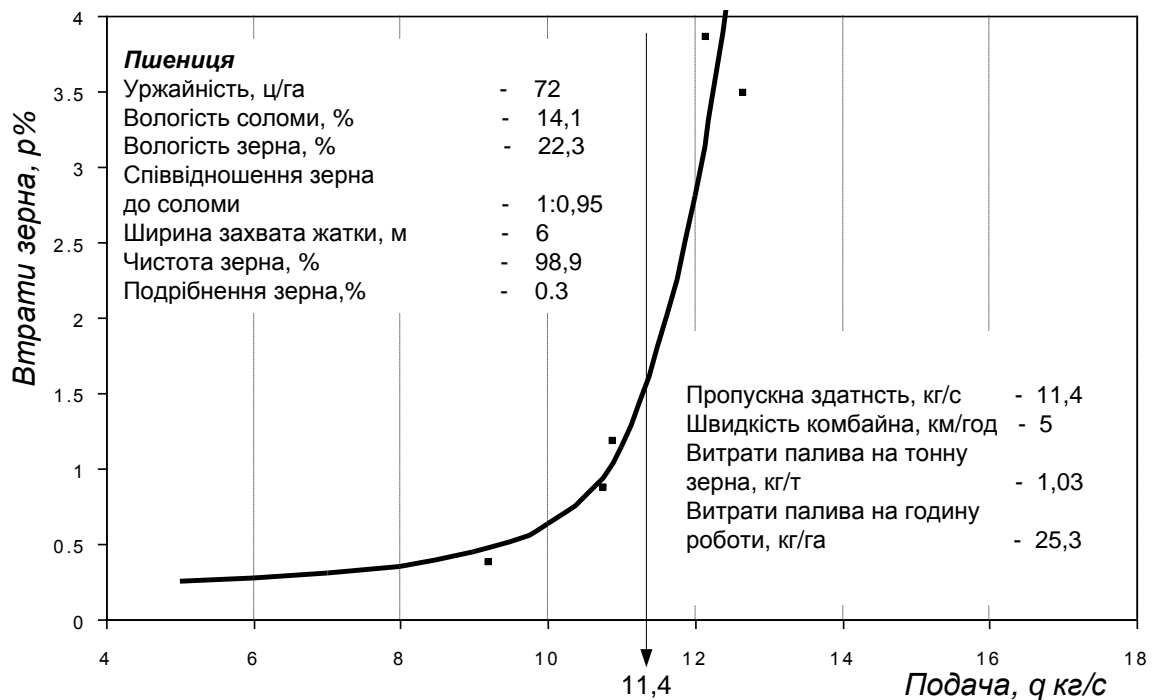


Рис. 1. Залежність втрат зерна за молотаркою комбайна «Dominator 108 SL Maxi» від подачі.

Подібна графічна залежність продуктивності від механічних втрат не знайшла теоретичного обґрунтування. Автори приведеної 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.

**Результати досліджень.** Із приведених на рис. 1 характеристик невідомо за рахунок якого чинника збільшується пропускна здатність, якщо характеристики і особливо співвідношення зерна до соломи  $1:0,95=const$ , ширина захвату жатки  $= const$ , швидкість комбайна  $V_p = 5$  км/год  $= const$ , витрата палива  $= const$ . Корпорація АГКО в інформаційних проспектах до фірмових комбайнів наводять графічну залежність продуктивності залежно від відносних значень втрат за молотаркою (рис. 2). В коментарях до

рис. 2 наводиться наступний 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 одної-двох неділь буде йти дощ. В цьому випадку збирання прийдеться проводити з більшою швидкістю, щоб зібрати більше зерна не дивлячись на те, що його втрати збільшаться».

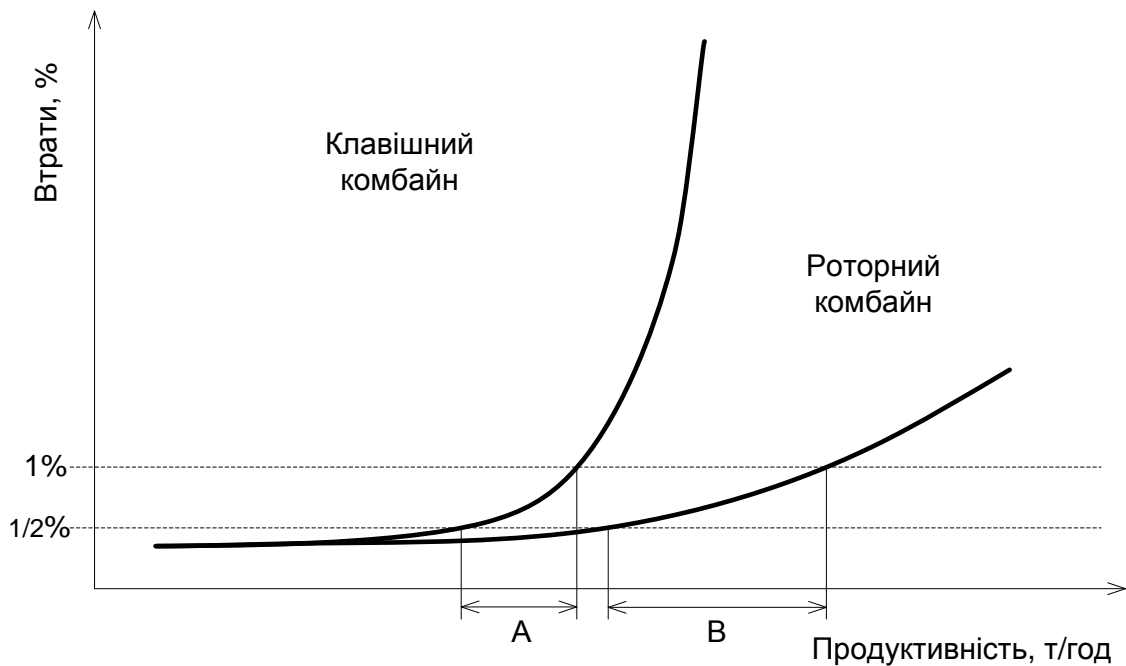


Рис. 2. Залежність продуктивності ЗК корпорації АГКО від механічних втрат за МПС комбайнів.

При збиранні комбайнами традиційної конструктивної схеми по мірі наближення до межі пропускної здатності сепаруючого пристрою механічні втрати різко підвищуються. В результаті підвищення втрат від 0,5 % до 1,0 % відповідає дуже не значний приріст продуктивності. Оскільки в роторних комбайнах сепарація виконується більш ефективно, приріст продуктивності буде вищий.

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

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

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

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

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

де  $dx$  – змінна параметру процесу;  $dt$  – змінна часу;  $a$  – границя (межа) параметра  $x$ .

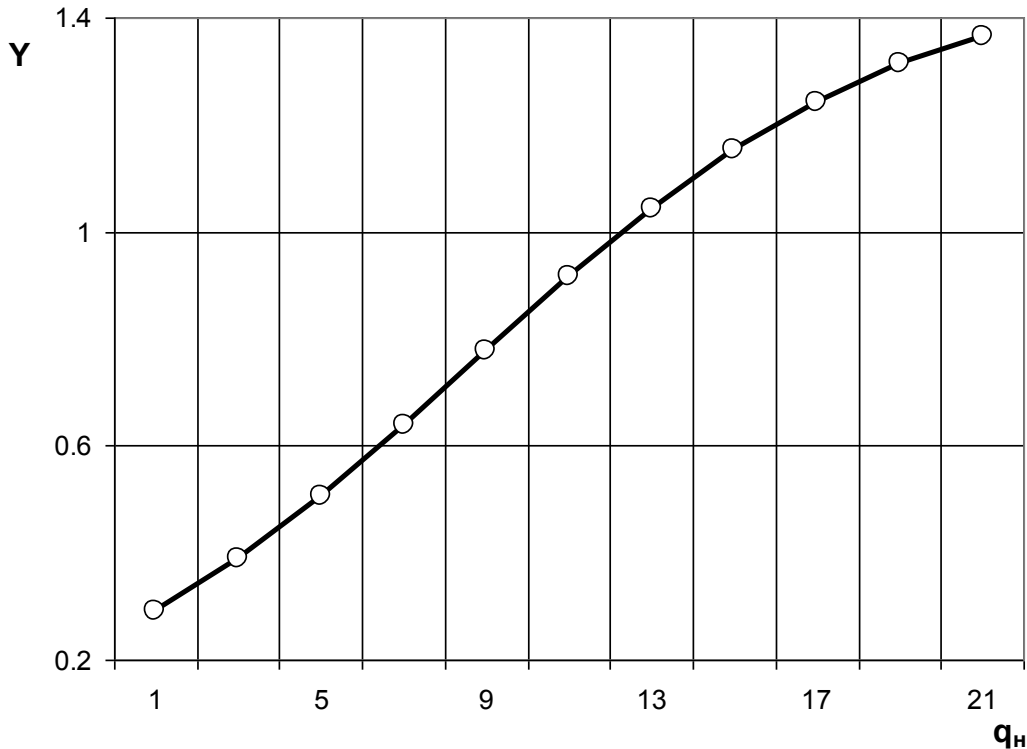


Рис. 3. Залежність пропускної здатності ЗК від механічних втрат.

Професор Жалнін Є.М. показав [2, 3], що для робочої характеристики ЗК можна використати постулат Гарячкина В.М. для диференціального рівняння з відокремленими коефіцієнтами:

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

де  $y$  – поточні механічні відносні витрати зерна за МСП ЗК;  $k$  – коефіцієнт інтенсивності процесу наростання втрат зерна;  $y_{gp}$  – граничні витрати зерна;  $g$  – подача хлібної маси в молотарку кг/с.

Для рішення рівняння виконаємо алгебраїчна перетворення:

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

Проінтегруємо обидві частини рівняння:

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

Розглянемо окремо частину рівняння:

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

Розкладемо підінтегральний вираз на елементарні дроби:

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

Тоді прирівнявши чисельник дробів, знайдемо А і В методом невизначених коефіцієнтів:

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

Прирівнюючи коефіцієнти при однакових степенях маємо:

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

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

Або в загальному матимемо наступне рівняння:

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

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

$$\frac{y}{(y_{sp} - y)} = C \exp(ky_{sp} g_u),$$

$$y(1 + C \exp(ky_{sp} g_u)) = y_{sp} C \exp(ky_{sp} g_u),$$

$$y = \frac{y_{sp} C \exp(ky_{sp} g_u)}{1 + C \exp(ky_{sp} g_u)} = \frac{y_{sp}}{1 + C^{-1}(-ky_{sp} g_u)},$$

$$y = \frac{y_{sp} C \exp(ky_{sp} g_u)}{C + \exp(ky_{sp} g_u)}. \quad (12)$$

Для початкових умов  $y(0)=0,1\%$ , константа С становитиме  $C=5$ . Після деяких перетворень 12 отримаємо рівняння:

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

Враховуючи початкову умову  $y(0)=0,1\%$  і прийнявши  $y_{sp}=1,5$ ;  $k=0,125$ , для загального рівняння маємо:

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

Отже рівняння в загальному матиме вигляд:

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

Розрахунок рівняння 15 проведемо для значень  $k$  (0,125; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0), та значення втрат  $y_{\text{зр.}}$  (1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5).

Отримані графічні залежності продуктивності через пропускні здатності, та значення втрат зерна показані на рис. 4.

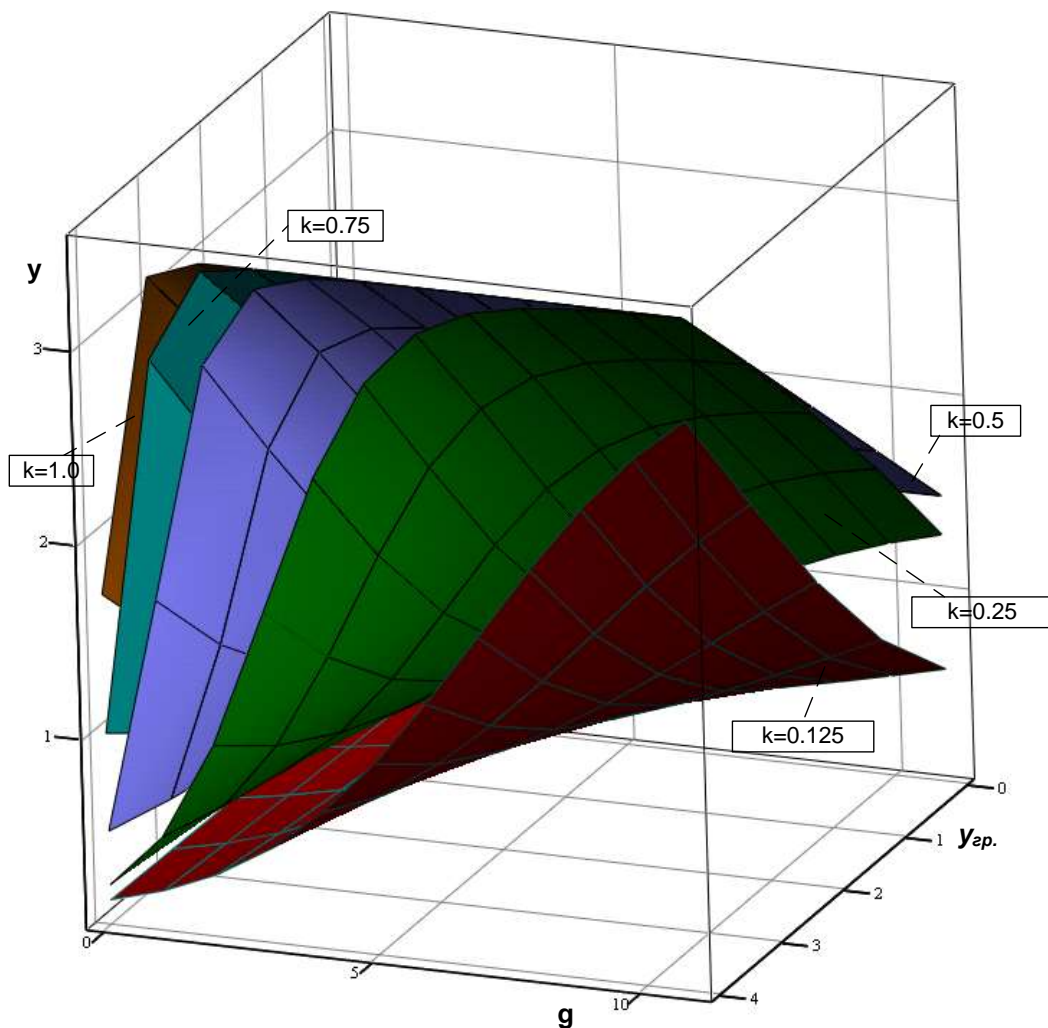


Рис. 4. Поверхні закономірностей зміни механічних втрат від ступеню завантаженості молотарки через пропускні здатності МПС.

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 зміну механічних втрат залежно від підвищення завантаження молотарки (кг/с), приведені на рис. 1, рис. 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).

Знайдемо точку перегину для функції, яка вкаже нам навантаження, при якому починає сповільнюватися швидкість зміни  $y$ . Перепишемо функцію у вигляді:  $y = y_{sp} \cdot (1 + C \exp(-ky_{sp} \cdot g_n))^{-1}$ , тоді

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

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

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

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

$y'' = 0$ , отже маємо:

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

$$ky_{sp} \cdot g_n = \ln(C), \text{ а звідси } g_n = \frac{\ln(C)}{ky_{sp}} \text{ – точка перегину.} \quad (19)$$

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

Врахувавши ті ж самі значення коефіцієнта осипання зерна та граничного значення втрат за МСП була побудована поверхня та графіки розподілу пропускну здатності (рис. 5, рис. 6).



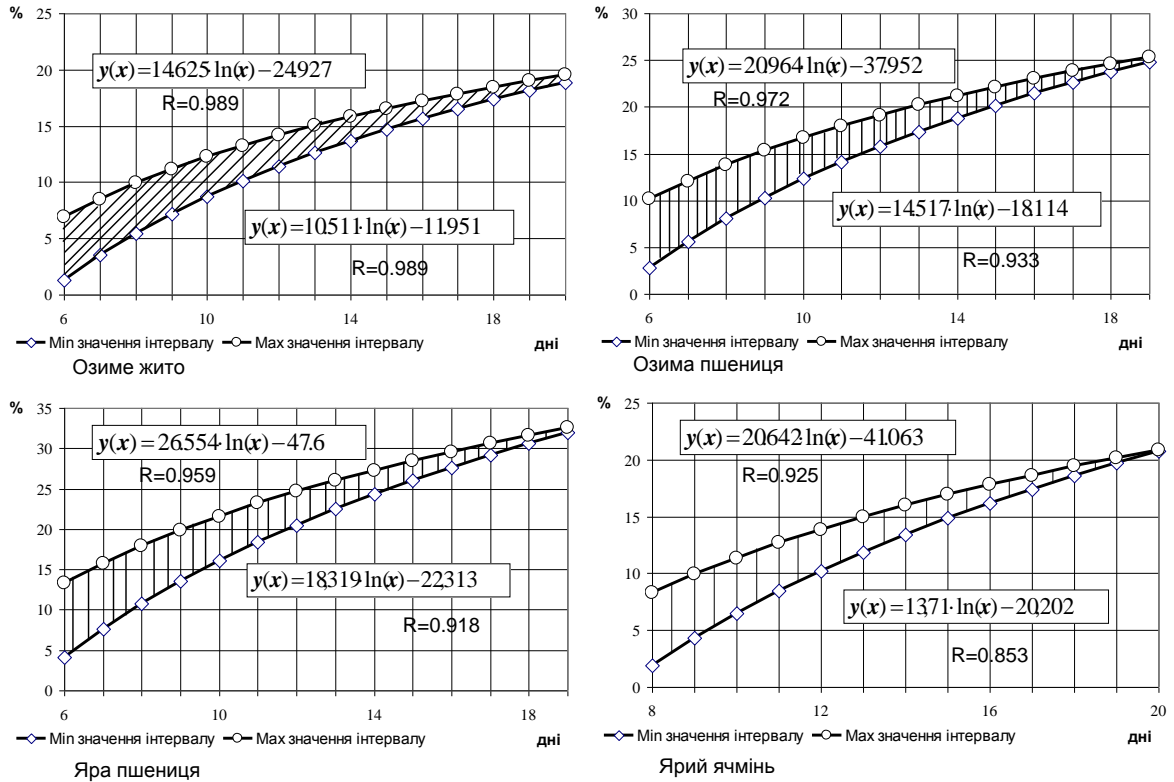


Рис. 5. Закономірність зміни біологічних втрат вирощеного урожаю залежно від терміну збирання.

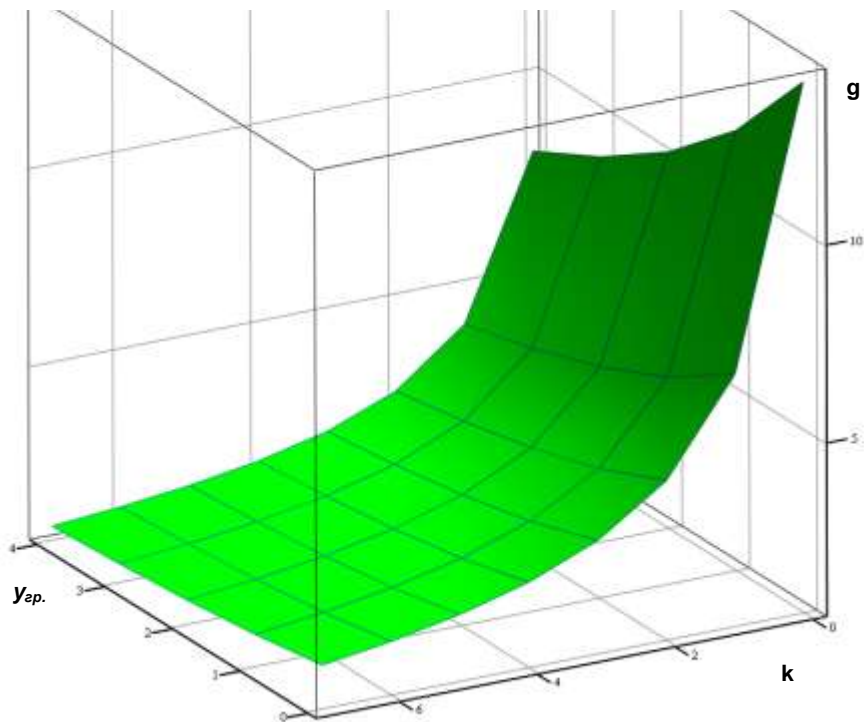


Рис. 6. Характеристична залежність пропускної здатності від коефіцієнта осипання зерна ( $k$ ) та граничного значення втрат за МСП.

Статистична обробка числових значень відносних втрат урожаю від осипання  $y(x)$  від тривалості комбайнування дозволило отримати емпіричні залежності для  $\max$  і  $\min$  значень інтервалу:

1. Озиме жито:  $\max y(x) = 14.625 \ln(x) - 24.927, R = 0.989;$  (21)

$\min y(x) = 10.511 \ln(x) - 11.951, R = 0.989.$  (22)

2. Озима пшениця:  $\max y(x) = 20.964 \ln(x) - 37.952, R = 0.972;$  (23)

$\min y(x) = 14.517 \ln(x) - 18.114, R = 0.933.$  (24)

3. Яра пшениця:  $\max y(x) = 26.554 \ln(x) - 47.6, R = 0.959;$  (25)

$\min y(x) = 18.3191 \ln(x) - 22.313, R = 0.918.$  (26)

4. Ярий ячмінь:  $\max y(x) = 20.642 \ln(x) - 41.063, R = 0.925;$  (27)

$\min y(x) = 13.71 \ln(x) - 20.202, R = 0.853.$  (28)

### Висновки

Теоретичні дослідження зміни продуктивності від механічних втрат дозволяють зробити наступні висновки:

1. Графічна залежність показана на рис. 1, рис. 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 при умові, що культура дозріває одночасно. Закони агробіології стверджують. Що 4-5 мільйонів стебел озимої пшениці, що 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, рис. 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.

4. При порівнянні відносних значень біологічних втрат від осипання із відносними і числовими значеннями допустимих втрат за МПС ЗК на 20-й день жнив виявилось, що біологічні втрати в об'ємі 18..19% перевищують допустимі механічні втрати в об'ємі 1.5% в 12 разів для озимого жита, в 16 разів для озимої пшениці, в 21 раз для ярої пшениці та в 14 разів для ярого ячменю. Порівняння фактичних втрат. Зафіксованих під час жнив за комбайном ДОН-1500, які за середніми значеннями не перевищують 0.6% показують, що біологічні втрати 20 днів жнив перевищують механічні втрати в межах 20...40 разів.

5. Маса механічних втрат за МПС комбайнів за середніми значеннями складає 0,6% від валового збору, тобто 6 кг із кожної зібраної тони зернових. Ринкова вартість 6 кг становить приблизно 11 грн. Вартість 1 тони продовольчого зерна на 20\$ дорожче ніж фуражної продукції, яка формується через затягування строків жнив. Збитки які несуть сільгоспвиробники від зниження якості зерно на кожній тоні, без врахування біологічних втрат від осипання, складає орієнтовно 200 грн., що у 18-20 разів більше від механічних втрат 11 грн.

### Список літератури

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Том первый. Изд-во второе / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – 720 с.
2. Жалнин Э.В. Развитие учения В.П. Горячкина в области зерноуборочной техники / Э.В. Жалнин // Техника в сельском хозяйстве. – 2004. – № 6. – С. 23–30.
3. Жалнин Э.В. О переводе физических зерноуборочных комбайнов эталонные / Э.В. Жалнин, М.Ш. Жикинбаев, В.С. Пьянов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 6. – С. 37–40.
4. Маслов Г.Г. Методика комплексной оценки эффективности сравниваемых машин / Г.Г. Маслов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – №10. – С. 31–33.
5. Демко А.А. Динамическая модель расчета пропускной способности молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна / А.А. Демко, О.В.Надточій, О.А. Демко // Сб. ст. международной научно-практической конференции "Техника будущего: перспективі развития сельскохозяйственной техники". ВПО "Кубанский ГАУ". – Краснодар, 2013. – С. 30–34.

*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.*

***Производительность, пропускная способность, осыпание зерна, молотильно-сепарирующее приспособление.***

*The theoretical dependence of production grainharvesters combine from mechanical losses arising for threshing and separating device. The characteristic dependence of capacity of duration of grainharvesters combine factor shedding through harvesting grain and limit losses in threshing and separating device.*

***Production, capacity, shedding grain, threshing-separating device.***