

**ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ  
МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ  
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА**

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

*Запропонований метод визначення пропускної здатності МСП із врахуванням зміни техніко-експлуатаційних характеристик із збільшенням терміну експлуатації.*

***Зернозбиральні комбайни, пропускна здатність, техніко-експлуатаційні характеристики, аналітичний метод.***

**Постановка проблеми.** Узагальнюючою техніко-технологічною характеристикою зернозбиральних комбайнів виступає пропускна здатність молотильно-сепаруючого пристрою, що має розмірність кг/с. В останні роки фірмами-виробниками зернозбиральних комбайнів в технічній документації, що додається до комбайнів, показники пропускної здатності не наводяться. В кращому випадку в інформаційних бюлетенях, рекламних проспектах наводяться намолоти зерна в тонах за годину чистої роботи, які не можна трактувати як показники, що досягнуті в умовах реального виробництва, а як показові, досягнуті при випробуваннях нових машин на спеціальних ділянках.

Неможливість визначити навіть із оптимістичним показником пропускної здатності МСП сучасних комбайнів не дозволяє прогнозувати питому потребу комбайнів по відношенню до посівних площ під зерновими і технічними культурами, строки жнив по відношенню до наявних комбайнів і навпаки – потребу комбайнів для збирання прогнозованого урожаю в межах агробіологічних термінів жнив.

**Аналіз останніх досліджень.** Для ефективного використання наявного парку зернозбиральних комбайнів (ЗК) необхідно знати не тільки стартові конструктивні і експлуатаційні, техніко-технологічні показники і характеристики нових машин, але й закономірності їх зміни із збільшенням наробітку (терміну) експлуатації. На полях сільгоспвиробників України використовуються ЗК більше 100 марок, моделей, модифікацій всіх провідних виробників світу різних конструктивних схем із строком експлуатації від 1 до 30 років.

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

При відсутності показників пропускної здатності комбайнів нівелюється аналітичний інженерний менеджмент, як перспективна форма прогнозованого управління, сільськогосподарським виробництвом. Спеціалісти крупних агрофірм, середніх і дрібних сільгоспвиробників не можуть аналітично оцінити продуктивність комбайна, який мають намір придбати на перспективу, а тільки купивши визначити за результатами власного виробничого досвіду, або досвіду авторитетних сільгоспвиробників-власників подібних машин.

Для розрахунку пропускної здатності  $q_n$  ЗК ще в 60-70-х роках минулого століття використовувалося рівняння [1].

$$q_n = 2B \cdot \lg(Q \cdot \ln L), \quad (1)$$

де  $B$  – ширина молотарки;

$Q$  – емпіричний коефіцієнт;

$L$  – проектна довжина сепарувальної поверхні підбарабання і соломотряса.

З тих пір пропускну здатність комбайна почали оцінювати кількістю обмолоченої хлібної маси в кілограмах за секунду при загальних втратах за молотаркою вільним зерном на рівні 1,5%.

В роботі [2] на підставі досліджень достатньо великої статистичної вибірки із параметрів комбайнів того часу виявив такі емпіричні залежності:

$$C_T = 1636 \cdot q_i^{0.86}, \quad (2)$$

$$N_E = 24,8 \cdot q_i^{0.97}, \quad (3)$$

де  $C_T$  – маса комбайна, кг;

$N_E$  – потужність двигуна, к.с.;

$q_i$  – пропускну здатність молотарки, кг/с.

Розробка методики переведу фізичних зернозбиральних комбайнів в еталонні одиниці з використанням коефіцієнтів переведу дозволить об'єктивно оцінити потреби для оновлення і поповнення парку з метою мінімізації, втрат урожаю. Перераховані параметри і характеристики комбайнів – системо-утворюючі для всіх решти показників технічного рівня, і більшість із них виражаються через пропускну здатність і параметри молотильно-сепаруючих пристроїв.

В якості еталонного показника прийнята пропускну здатність комбайна (кг/с) як максимальна продуктивність в одиницю чистого часу через зерно-соломисту масу, яку може обмолотити комбайн при відношенню маси соломи до маси зерна 1,5, втратах зерна за молотаркою не більше 1,5%, вологості зерна до 18%, соломи 20%, ухилі поля не більше 8° і забрудненості не більше 5%. [4].

Аналізуючи пропускну здатність кожної моделі (1), автори [3,4] прийшли до висновку, що формула (1) дає неадекватну характеристику комбайна тому, що враховують тільки два його параметри. Такі важливі характеристики як потужність двигуна і площа решіт очистки не враховувалися.

Науково-практичну ідею оцінки сучасних зернозбиральних комбайнів проведено російськими вченими під керівництвом доктора технічних наук Е.В. Жалніна у статті «О переводе физических зерноуборочных комбайнов в эталонные» Необхідність розробки подібної науково-практичної задачі автори пояснюють розуніфікацією, технічним рівнем, труднощами із обслуговуванням, ремонтом, статистичною звітністю, плануванням розвитку парку, об'єктивною оцінкою реальністю забезпечення на одиницю збиральної площі, прогнозуванням розвитку технічного сервісу.

Російські вчені виявили, що найбільш тісний кореляційний зв'язок із пропускну здатністю комбайнів мають чотири параметри: потужність двигуна, площа активної сепарації (підбарабання), площа соломо сепаратора і площа решіт очистки. Вони пов'язані між собою поняттям - параметричний індекс комбайна [3,4].

$$i_k = 0.25 \left( \frac{N_E}{32} + \frac{F_{II}}{0.26} + \frac{F_C}{1.5} + \frac{F_P}{0.8} \right), \quad (4)$$

де  $N_E$  – ефективна потужність двигуна, к.с.

$F_{II}$ ,  $F_C$ ,  $F_P$  – площа підбарабання, загальна площа інтенсивної сепарації соломотряса, площа решіт очистки, м<sup>2</sup>. Пропускна здатність зернозбирального комбайна  $q_n$  і його параметричний індекс  $i_k$  зв'язані відношенням:

$$q_n = 1.83 \cdot i_k - 0.83. \quad (5)$$

Для комбайнів із класичною компоновкою молотильною молотильно-сепаруючим пристроєм (МПС) – поперечним барабаном клавішним соломотрясом значення пропускну здатності визначається із залежності:

$$q_n = 0.458 \cdot \left( \frac{N_E}{32} + \frac{F_{II}}{0.26} + \frac{F_C}{1.5} + \frac{F_P}{0.8} \right) - 0.83. \quad (6)$$

Для комбайнів із аксіально-роторною молотаркою

$$q_n = 1.83 \cdot \left( \frac{N_E}{126} + 0.5 \cdot (F_{ПС} + F_P) \right) - 0.83. \quad (7)$$

Пропускна здатність молотильного апарату співробітники фірми Claas (Бутов С.В.) визначають використовуючи основні теоретичні посилання [5,6] виходячи із наступних умов:

– рослинна маса, що поступає в молотильний зазор із зростаючою швидкістю забирається бичами і не перешкоджає наступній порції;

– максимальна пропускна здатність буде визначатися для умов входу рослинної маси (максимально допустима аж до забивання барабана)

$$q_i = \Delta \cdot \rho \cdot u_1 \cdot l \cdot \eta, \quad (8)$$

де  $\Delta$  – товщина потоку рослинної маси на вході у молотильний барабан, м;

$\rho$  – щільність рослинної маси (для пшениці 40 кг/м<sup>3</sup>);

$u_1$  – швидкість рослинної маси на вході у молотильний барабан (Mega, Lexion = 12 м/с – завдяки барабану-прискорювачу, Megion, Dominator = 3 м/с);

$l$  – довжина барабана, м;

$\eta$  – коефіцієнт використання довжини барабана (Mega, Lexion = 1.0 – завдяки барабану-прискорювачу, Megion, Dominator = 0.8).

Для визначення товщини потоку рослинної маси використаємо поняття ступінь стиску в молотильному зазорі:

$$\beta = \frac{\Delta}{\delta} \quad (9)$$

де  $\delta$  – величина зазору між барабаном і підбарабанням на вході.

Для переміщення рослинної маси без зупинок, забивання значення  $\beta$  не повинно перевищувати критичних значень, яке в свою чергу залежить від фізико-механічних властивостей культури, що обмолочується. Для стебел пшениці  $\beta=6...7$ . [6]

Приклад розрахунку пропускної здатності молотильного апарату комбайнів Lexion 580 - 540 із шириною барабана  $l = 1.68$  м,  $\delta = 0.011$ .

$$\Delta = 7 \cdot 0.011 = 0.077 \text{ м}; \quad q = 0.077 \cdot 40 \cdot 12 \cdot 1.68 \cdot 1 = 62.06 \text{ кг/с}$$

**Результати досліджень.** Розрахункові дані за (8) приведені в таблиці 1.

Всі розрахункові дані наведені в таблиці 1 отримані авторами із врахуванням наступних параметрів:

- відношення зерно/солома = 1/1;
- культура – пшениця;
- зазор на вході вибрано виходячи із інструкції по експлуатації.

Свої теоретичні розрахунки автори підтверджують практичними результатами 22 серпня 2003 року. Цього дня комбайн Lexion 580 Terra Trac працюючи в Ноттингемпшері (Англія) із жаткою 7,5 м. зібрав за 16 годин роботи 1018 тонн пшениці (сорт «Клер»). При цьому середня продуктивність на полі 104,7 га склала 70 т/год, а

максимальна продуктивність сягнула 94 т/год, що відповідає пропускній здатності  $q_n = 50$  кг/с. Автори дане розходження в теоретичних і практичних результатах в обсязі 20% розглядають як наявний резерв.

### 1. Розрахункові дані за формулою (8).

Марка комбайна	Довжина барабана, м	Зазор на вході, мм	Швидкість маси на вході, м/с	Ступінь стиску маси	Коеф. використання довжини бича	Щільність маси, кН/м <sup>3</sup>	Пропускна здатність, кг/с
Lexion 580-540	1.68	11	12	7	1.0	40	62.06
Lexion 530-510	1.40	11	12	7	1.0	40	51.74
Mega 360	1.58	13	12	6	0.9	40	53.24
Mega 350	1.32	13	12	6	0.9	40	44.48
Medion 340	1.58	13	3	6	0.8	40	11.83
Medion 330-310	1.32	13	3	6	0.8	40	9.88
Dominator 130-150	1.06	13	3	6	0.8	40	7.94
Дон-1500Б	1.5	16	3	6	0.8	40	13.82

Пропускную здатність комбайнів можна розрахувати використовуючи основні їх техніко-експлуатаційні характеристики.

Для визначення годинної продуктивності ЗК використовують дві аналітичні залежності:

Пропускную здатність комбайнів можна розрахувати використовуючи основні техніко-експлуатаційні характеристики.

$$W_{\Gamma} = \frac{0.36 \cdot B_p (Ne_n \cdot \xi - 2 \cdot q_n)}{\frac{B_p \cdot U(1 + \delta_c)(N_{II} + N_{III})}{10} + \frac{g \cdot f \cdot G_T \cdot t}{\eta_{TP}}} \quad (10)$$

$$W_{\Gamma} = \frac{3.6q_n}{U(1 + \delta_c)} \quad (11)$$

У формулі (8) продуктивність обмежується потужністю двигуна комбайна  $Ne_n$  у формулі (9) пропускною здатністю молотарки  $q_n$ . Розрахунки продуктивності ЗК при низькій і високій урожайності показують розбіжність у результатах до 18%. Якщо порівняти ці формули і знайти рішення відносно  $q_n$  то можна вважати значення  $q_n$  точкою перетину для якої рішення по приведених формулах будуть рівнозначні.

Знайдемо значення пропускної здатності молотарки  $q_n$  із спільного рішення двох рівнянь:

$$q_n = \frac{0.1 \cdot Ne_n \cdot \xi}{A + 0.2}, \quad (12)$$

$$\text{де } A = \frac{0.1 B_p \cdot U(1 + \delta_c)(N_{\text{ПМ}} + N_{\text{ПП}}) + \frac{g \cdot f \cdot G_T \cdot t}{\eta_{\text{ТР}}}}{B_p \cdot U(1 + \delta_c)};$$

$\xi$  – коефіцієнт завантаження двигуна, який можна розглядати як ККД клинопасової передачі двигуна барабана;

$N_{\text{ПМ}}$  – питома потужність на обмолот 1 кг хлібної маси за одну секунду (9.1 кВт.с/к);

$N_{\text{ПП}}$  – питома потужність на подрібнення 1 кг соломистої маси за 1 с. (2.1 кВт.с/к);

$B_p$  – ширина захвату жатки, м;

$f$  – коефіцієнт перекочування (0.12);

$\eta_{\text{ТР}}$  – к.к.д. трансмісії (0.88);

$U$  – урожайність, тонн;

$\delta_c$  – солонистість (1,5);

$G_T$  – маса комбайна і маса 0,5 зерна в бункері (16.8 т.).

Якщо у формулі (6) використовуються чотири показники, що характеризують конструкцію комбайна і шість емпіричних коефіцієнтів, то у формулі (12) використовуються п'ять показників і чотири характеристики, що мають різні значення.

Розрахункові значення пропускної здатності МПС комбайнів за формулою (12) приведені в таблиці 2: за формулою (8) під знаком \*, а за (5) позначено \*\*. Фірма КЛААС показує пропускну здатність МПС через пропускну здатність приймальної камери комбайнів серії Lexion 580-540 в об'ємі 62,06 кг/с. Розрахунки за (13) при умові урожайності 4 т/га, солонистості 1.5 становить пропускну здатність для Lexion 580 – 17 кг/с, а Lexion 540 – 12 кг/с. За умовами проведених польових досліджень в Англії (урожайність 10 т/га, солонистість 1) значення розрахункової пропускної здатності Lexion 580 підвищиться до 19,4 кг/с. Підвищення урожайності і зниження

соломистості сприяють підвищенню пропускної здатності на 14% у порівнянні із характеристиками урожаю  $U = 4$  т/га,  $\delta_c = 1.5$ .

## 2. Розрахункові показники пропускної здатності МПС зернозбиральних комбайнів

Марка комбайна	Потужність, кВт/к.с	Маса, кг	Об'єм бункера, л	Об'єм паливн. баку, л	Розрахункова пропускна здатність, кг/с		
					(12)	(8)*	(5)**
Lexion 580	330/450	16560	10500	800	17.0	62.06	–
Lexion 570	312/425	15725	10500	800	16.0	62.06	–
Lexion 560	265/360	14410	10500	800	14.0	62.06	–
Lexion 550	236/321	14410	9600	800	12.64	62.06	–
Lexion 540	210/286	14410	8600	700	11.83	62.06	–
MG Cerea 7274	272/370	15550	9500	750	14.40	–	–
MG Cerea 7248	303/413	16320	9500	750	15.85	–	–
MF 4244	160/220	10100	7000	750	8.9	–	–
MF 4245	186/255	10300	7000	750	9.78	–	–
Мега 218	199/270	11060	7000	600	11.25	–	–
КЗС-9-1	173/235	13300	6000	500	8.5	–	–
Скиф-250	184/250	13500	6000	500	9.09	–	–
Лида-1300	191/260	13360	6300	520	9.45	–	8-9
Лида-1600	239/325	17000	9000	650	10.9	–	12-14
Дон-1500Б	173/235	13300	6000	500	8.55	13.82	9.5
Вектор 420	154/210	12700	6000	500	7.57	–	7.7
Нива-эф	106/145	8087	3000	300	5.57	–	5.6
Acros 530	184/250	16440	9000	540	8.36	–	9.7
Acros 540	194/260	16440	9000	540	8.8	–	–

Пропускна здатність МСП комбайнів ДОН-1500 в технічній документації була визначена в об'ємі 8,4 кг/с. За умов нормативних характеристик хлібостою, продуктивність комбайна за годину чистої роботи по масі має складати 14 тонн. Максимальну продуктивність за умов дотримання допустимих витрат за молотаркою за БІП блок інформації втрат умови реального комбайнування при збиранні зернових культур була досягнута 10 тонн. Тобто теоретична продуктивність, визначена через пропускну здатність МСП, в реальних умовах експлуатації використовується максимум на 70%.

Розбіжність у показниках розрахункової продуктивної здатності і фактичною продуктивністю за умов реальної експлуатації дозволяє висловити припущення, що показники і характеристики комбайнів, які входять в розрахункові формули (6) мають оптимістичні значення. За законами конструювання комбайнів ширина і довжина молотарки і, відповідно, площа соломотряса і решіт із збільшенням

терміну експлуатації не змінюються і пропускна здатність комбайнів має залишатися постійною.

Дослідженнями [6] було виявлено, що із збільшенням терміну експлуатації продуктивність комбайнів за годину чистої роботи змінюється і сезон знижується із двох причин: перша – через зміну показників фізичної надійності, тобто збільшення кількості відмов за термін жнив і сумарної тривалості простоїв по усуненню відмов; друга також через зношування роботи механізмів силових агрегатів і передаточних механізмів знижуються показники параметричної надійності. Зокрема для двигунів через загальне зношування знижується потужність двигунів, зростають витрати палива на одиницю продукції.

Дослідження потужності 27 двигунів СМД-31 в умовах виробничої експлуатації із різними наробітками в мотогодинах було виявлено (6) що середнє зниження потужності двигунів СМД-31 складає  $\Delta N_{cp} = 0.022$  кВт за одну мотогодину. На двох двигунах, що відпрацювали 1976 і 2017 мотогодин без заміни циліндро-поршневої групи зниження потужності складало відповідно 37 і 38 кВт, тобто на 21% і 23% менше від номінального значення  $N_{ен} = 173$  кВт. На двигунах, в яких замінювалися ЦПГ без належних режимів холодної і гарячої обкатки, середнє зниження потужності складало  $\Delta N_{cp} = 0.022$  кВт/мото.год. Через зношування робочих механізмів ГСТ-90 за 2500-2600 мотогодин було виявлено зниження гідрооб'ємного к.к.д. на 20-25%.

Через зношування і розтягування пасових, ланцюгових передач знижується к.к.д. привідних механізмів, коробки переміни передач, механізмів бортових редукторів, що потребує збільшення потужності для виведення їх на номінальні режими.

З врахуванням вищевикладених аргументів про зміну показників, що входять в формулу (11), доцільно внести зміни у кількісні значення: ефективної потужності, питомої потужності на обмолот  $N_{ПМ}$ , к.к.д. трансмісії.

Для двигунів із турбонадувом, і охолодженням повітря відмовою двигуна за показниками потужності називається такий стан, коли потужність знижується на 13% від номінального значення. Для конкретного випадку:

$$N_{ef} = N_{ен} - N_{ен} \cdot \Delta = 173 - 173 \cdot 0.13 = 147 \text{ кВт.}$$

Необхідно врахувати показник зниження гідро об'ємного к.к.д. ГСТ коробки переміни передач і бортових редукторів, клинопасової передачі від двигуна до вала барабана молотарки, як наслідок.

Стартові значення приведених коефіцієнтів складають  $\eta_{гст} = 0,81$ ;  $\eta_{кпп} = 0,9$ ;  $\eta_{тр} = 0,9$ ;  $\eta_{в} = 0,9$ .

Коефіцієнти після наробітку 1500-2000 мотогодин приймають значення:  $\eta_{\text{ГСТ}} = 0,7$ ;  $\eta_{\text{КПП}} = 0,85$ ;  $\eta_{\text{ТД}} = 0,85$ ;  $\eta_{\text{Б}} = 0,85$ . [5]

Питома потужність на обмолот по мірі зниження параметричної надійності пасових ланцюгових передач приводу робочих органів молотарки збільшується на 10%

$$\Delta N_{\text{ПМФ}} = N_{\text{ПН}} + \Delta \cdot N_{\text{ПН}} = 9.1 + 0.1 \cdot 9.1 = 10 \text{ кВт.с/кг}$$

Формулу (10) із врахуванням вище приведених значень можна записати:

$$q_n = \frac{0.1 \cdot 173 \cdot 0.9 \cdot 0.85}{0.1 \cdot 6 \cdot 4(1+1.5) \cdot (10+2.1) + \frac{9.8 \cdot 0.12 \cdot 16.8}{0.7 \cdot 0.85 \cdot 0.85} + 0.2} = 6.18 \text{ кг/с.}$$

Розрахунки пропускної здатності за формулою (6) дають значення  $g_n = 9.5$  кг/с, а за формулою (10)  $g_n = 10.2$  кг/с; Для розрахунку за формулою прийнята чиста маса комбайна  $G_T = 16,8$  т, якщо прийняти масу комбайна із масою зерна в бункері 50%, то пропускна здатність знижується до  $g_n = 9.13$  кг/с. Пропускна здатність комбайна із пустим бункером  $g_n = 10.2$  кг/с. Із бункером наповненим на 50% показниками параметричної надійності  $N_{e\phi} = 147$  кВт і гранично зношеними ГСГ-90 пасовими і ланцюговими передачами, коробкою переміни передач і бортовими редукторами зменшується до значення  $g_n = 6.18$  кг/с. Пропускна здатність гранично зношеного комбайна знижується наближено на 32%. Відповідно збільшується витрата палива на одиницю продукції (тонну, га) на 32%.

**Висновок.** Метод, запропонований авторами [3,4] може використовуватися для оцінки в статистиці теоретичної пропускної здатності молотильно-сепаруючого пристрою нових зразків комбайнів. Як показали результати аналітичних досліджень, підтверджених багаторічними статистичними показниками змінної і сезонної продуктивності в період практичної експлуатації комбайнів пропускна здатність не являється величиною сталою, а може зменшуватися із збільшенням терміну експлуатації на 30% від номінального значення. Відповідно збільшується витрата палива на одиницю продукції.

### Список літератури

1. Пустыгин М.А. Развитие зерноуборочных комбайнов и средств для уборки соломы / М.А. Пустыгин // Тракторы и сельхозмашины. – 1965. – № 8. – С. 32.
2. Ормаджи К.С. Тенденции развития комбайностроения / К.С. Ормаджи // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1971. – № 2. – С. 21.

3. Жалнин Э.В. Развитие учения В.П. Горячкина в области зерноуборочной техники / Э.В. Жалнин // Техника в сельском хозяйстве. – 2004. – №6. – С. 23–30.
4. Жалнин Э.В. О переводе физических зерноуборочных комбайнов в эталонные / Жалнин Э.В., Жикимбаев М.Ш., Пьянов В.С. // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – №6. – С. 37–40.
5. Липкович Э.И. Процессы обмолота и сепарации в молотильных аппаратах зерноуборочных комбайнов : пособие для конструкторов зерноуборочных машин) / Э.И. Липкович. – зерноград: Наука, 1973. – С. 34.
6. Босой Е.С. Теория конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е.С. Босой. – М.: Машиностроение, 1978. – С. 332–334.
7. Демко С.А. Визначення впливу терміну використання зернозбиральних комбайнів на їх техніко-експлуатаційні характеристики : Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К., 2007 / С.А. Демко. – 20 с.

*Предложенный метод определения пропускной способности МСУ ЗК с учетом изменений технико-эксплуатационных характеристик с учетом увеличения сроков эксплуатации.*

***Зерноуборочные комбайны, пропускная способность, технико-эксплуатационные характеристики, аналитический метод.***

*The offers method determinations to reception capacity MSU ZK with provision for change technician-field-performance dates with provision for increase the periods to usages.*

***Grainharvesting combines, carrying capacity, techniko-operational characteristics, analytical method.***

УДК 631.303.7

## **АНАЛІЗ НЕРІВНОМІРНОСТІ РУХУ ПРИВОДНОГО МЕХАНІЗМУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН**

***В.С. Ловейкін, доктор технічних наук  
В.П. Кулик, здобувач\****

*Проведено аналіз нерівномірності руху приводного механізму робочих органів зерноочисних машин.*

***Зерноочисна машина, приводний механізм, робочий орган.***

\*Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін

© В.С. Ловейкін, В.П. Кулик, 2012