

УДК 631.356.2.06

Вирішальні критерії вибору кормозбирального комбайна

В. Басаргін, докт. с.-г. наук
Г. Водяницький, канд. техн. наук,
В. Тимків, викладач
Житомирський національний
агроекологічний університет

Анотація. Висвітлено пріоритетність ряду кормозбиральних комбайнів, що відповідають світовим стандартам і сучасним досягненням науково-технічного прогресу. Автори обґрунтовують тенденції у світовій практиці до зростання продуктивності машин за рахунок постійного підвищення їх енергонасиченості, що дає змогу забезпечення своєчасності збирання культур за рахунок підвищення енергоємності процесу, збільшення матеріаломісткості, автоматизації процесу, інтелектуалізації, так знижуються затрати праці при збиранні кормів.

Ключові слова: корми, комбайни, технологічний процес, фірми, модель.

FORAGE HARVESTER CHOICE UNDER UNCERTAINTY AND MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION

V. Basargin, G. Vodyanytsky, V. Tymkiv
(Zhytomyr National Agroecological University).

The article highlights a number of priority issues forage harvesters that meet international standards and best suited implemented modern scientific and technological progress. These include, the company combines Case 7300, 6800, 6300, 7800; PA "Gomselmash" KSK-600, Don 680 RSM; PA "Gomselmash" WHC-80, RSM RSM 1401; Claas 890 Claas 900. The authors argue that the world is machine productivity growth trends through continuous improvement enerhonasychenosti them, which makes it possible to ensure timely harvesting crops by increasing energy intensity of the process, increasing material consumption, enhance process automation, intellectualization, thus decreasing costs labor in harvesting forage. It is necessary to pay attention to natural and environmental factors and minimize the total cost.

90-95% ціни на корм становлять матеріальні затрати [2]. У собівартості тваринницької продукції 50-70% займає вартість кормів, тому зниження ціни на корми, істотно зменшує ціну продукції.

Вибір технічно досконалої техніки, зокрема кормозбиральних комбайнів, – реальна можливість заощадити для здешевлення кінцевої продукції.

Фундаментальною працею стосовно кормозбиральних комбайнів, у якій викладена історія виникнення кормозбирального комбайна і теорія процесу робочих органів є монографія Резніка Н.Е. [1].

Кормозбиральні комбайни працюють на полях країни з 50-х років двадцятого століття у вигляді причіпних машин СК-2,6, КС-2,6, КС-1,8, КСС-2,6 тощо, та самохідних КСК-100 і КСК-100А [1]. Вони відрізняються системною технологічністю, надійністю в роботі та доступними цінами [3].

Сучасні комбайни світу мають високий рівень технічних рішень, що забезпечують значне поліпшення контролю і управління машиною, всіма операціями технологічного процесу – зрізування, подачі, подрібнення та транспортування подрібненої маси у транспортні засоби.

Останнім часом кормозбиральні комбайни піддають все чіткішій класифікації [1, 3]: за пропускною здатністю; за будовою жниварки; за типом подрібнювального апарату; за типом розвантажувального органу; за способом агрегування; за способом приводу робочих органів та за типом засобу для збирання подрібненої маси. Слід зазначити, що нині на Європейському ринку працює більше 20 фірм, які реалізують понад 50 моделей кормозбиральних комбайнів [3, 6, 7, 9, 10], тому вибрати оптимальний варіант комбайна для конкретних умов виробництва не просто.

Метою даного дослідження є аналіз сучасних кормозбиральних комбайнів світу і, на підставі багатокритеріальної оцінки їх технічного рівня, рекомендувати методику вибору комбайна в умовах невизначеності механізованого кормовиробництва.

Об'єктом нашого дослідження є 44 різних моделей і марок самохідних кормозбиральних комбайнів провідних 8-ми фірм світу. Комбайни мають різну пропускну здатність [1, 3], одного типу подрібнювачі, адаптери та вивантажувальні пристрої. Окрім цього, спосіб агрегування та приводу робочих органів також аналогічні.

На підставі результатів аналізу останніх досліджень [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14] найбільш представницькими є комбайни фірми "Джон Дір", "Fendt", "Case", "New Holland", "Claas", "Krone", "Ростсельмаш".

Наявна інформація дала змогу проаналізувати такі дані про кормозбиральні комбайни: назва фірми, модель машини, продуктивність, діаметр і ширина подрібнювального барабану, довжину січки, кількість ступенів подрібнення, габаритні розміри та масу комбайна, потужність енергетичного засобу. Оцінку властивостей даної технічної системи здійснюємо декількома критеріями. За критерії вибираємо властивості, які є істотними, вимірюваними, некорельованими, однозначними та питомими і мають певний фізичний зміст [15].

Таким чином, дану технологічну систему подаємо, як багатокритеріальну, стохастичну з взаємопротилежними векторами критеріїв, яка функціонує в умовах невизначеності. Дослідження такої моделі, виконуємо методом інтегрального критерію за відстанню до цілі, в основі якого лежить обґрунтування ідеального варіанту та оцінки міри наближення до нього кожного із варіантів вихідної множини альтернатив. Для реалізації даного методу будуємо таблицю з використанням програми Excel 2007.

Шляхом порівняння значень показників, обираємо ідеальний варіант моделі, яка мала б максимальні чи мінімальні значення критеріїв. Наступним кроком є нормування критеріїв, при цьому:

$$u_{ij}^{-} = \frac{u_{ij}^{-}}{u_{i0}^{-}},$$

якщо u_{ij}^{-} поліпшується, у бік зменшення (енергоємність процесу, габаритність, металомісткість за продуктивністю та питомий тиск на опорну поверхню, питома капіталомісткість);

$$u_{ij}^{+} = \frac{u_{ij}^{+}}{u_{i0}^{+}},$$

якщо u_{ij}^{+} поліпшується, у бік збільшення (подача, енергонасиченість технологічного процесу).

Отримані нормовані безрозмірні і-ті критерії вико-

ристовуємо для розрахунку відстані до цілі j -того варіанту:

$$\mu_j = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{i=n} u_{ij}^i \right) - 1,$$

де μ_j – відстань до цілі j -того варіанту;

n – число критеріїв оцінки альтернатив;

u_{ij}^i – оптимальне (мінімальне чи максимальне значення i -того критерія.

Для кормозбирального комбайна високого технічного рівня μ_j наближається до нуля.

Таким чином, оцінені машини ранжуємо в пріоритетний ряд.

Найбільш значимими для оцінки корисності комбайнів є: пропускну здатність комбайна ($t/год$); габаритність ($m^3 год/t$); енергоємність технологічного процесу комбайна ($кВт \cdot год/t$); енергонасиченість комбайна ($кВт/кг$); металомісткість за продуктивністю ($кг \cdot год/кг$); питомий тиск на ґрунт ($кПа$) та капіталомісткість одиниці продукції комбайна ($грн/t$).

Пропускную здатність комбайна визначали за залежністю [1]:

$$Q = (0,18..0,35) h_{max} \cdot b \cdot l_c \cdot \rho \cdot z_H \cdot w_p, \quad (1)$$

де h_{max} – максимальна висота горловини подрібнювального апарату комбайна, приймаємо $h_{max} = 0.5D$,

D – діаметр подрібнювального барабану, м;

b – ширина горловини подрібнювального апарату, м;

l_c – довжина січки, м;

ρ – об'ємна маса ущільненого кормового матеріалу в живильній камері подрібнювального апарату, $кг/м^3$;

z_H – кількість ножів в ряду подрібнювального апарату барабана, шт.;

w_p – частота обертання подрібнювального барабана, с.

Значення пропускну здатності визначає технічну досконалість (оптимальність) конструкції комбайна.

При цьому, ми враховували паспортні дані робочих органів, які забезпечують технологічний процес.





Габаритність розраховали за залежністю:

$$G_m = \frac{B \cdot L \cdot H}{Q}, \quad (2)$$

де B, L, H – габарити комбайна, відповідно ширина, довжина і висота, м.

Енергоємність технологічного процесу роботи комбайна:

$$E = \frac{N}{Q}, \quad (3)$$

де N – потужність силової установки комбайна, кВт;
 Q – пропускна здатність комбайна, т/год.

Матеріаломісткість комбайна:

$$\dot{I}_a = \frac{G \cdot \hat{e}_M}{Q \cdot t_{\text{ci}} \cdot T_a \cdot D \cdot \hat{e}_{\text{ci}}}, \quad (4)$$

де G – вага комбайна, кг;

\hat{e}_M – коефіцієнт, який враховує додаткове використання матеріалу в процесі використання комбайна;

t_{ci} – середня тривалість робочої зміни, год;

T_a – термін амортизації комбайна, років;

D – тривалість використання комбайна в рік, діб;

\hat{e}_{ci} – коефіцієнт змінності в процесі експлуатації комбайна.

Енергонасиченість комбайна розраховуємо:

$$M_e = \frac{N}{G}, \quad (5)$$

Питомий тиск рушіїв на ґрунт визначаємо [16]:

$$P_k = \frac{G}{F_k}, \quad (6)$$

де F_k – площа плями контакту шини, м²;

$$F_k = \pi h_x \sqrt{(D_w - h_x)(B_w - h_x)},$$

де D_w, B_w – зовнішній діаметр і ширина шини, м;
 h_x – нормальний прогин шини, м,

$$h_x = \frac{C_2 \cdot G_k}{2P_w} + \sqrt{\left(\frac{C_2 \cdot G_k}{2P_w}\right)^2 + C_1 G_k},$$

де C_1, C_2 – постійні коефіцієнти для конкретної шини;
 G_k – нормальне навантаження на рушії, Н;
 P_w – тиск в шині, Па.

При визначенні G_k , розподілені ваги комбайна між веденими і ведучими рушіями приймаємо у співвідношенні 0,3Г:0,7Г.

Питому капіталомісткість процесу збирання кормів комбайна визначаємо:

$$K_n = \frac{100 \cdot \ddot{O}}{Q \cdot D \cdot T \cdot \tau_{\text{ci}} \cdot \alpha_{\text{ai}}}, \quad (7)$$

де \ddot{O} – балансова вартість комбайна, грн;

T – добове завантаження, год/добу;

$T_{\text{зм}}$ – коефіцієнт використання зміни при збиранні кормів комбайном;

$\alpha_{\text{ам}}$ – норма річних амортизаційних відрахувань, %.

Технічний рівень комбайна є відносною характеристикою його якості, що ґрунтується на порівнянні значень, які характеризують технічну досконалість кормозбирального комбайна зі значеннями аналогічних показників базової моделі машини. Технічний рівень оцінює використання науково-технічного прогресу для задоволення потреб, ступінь досконалості машини, новизни та прогресивності конструктивно-технічних рішень, [2, 3, 5, 12, 17]. Оцінку технічного рівня комбайнів здійснюємо через сукупність критеріїв, які інтегровано оцінюють якість машин (додаток).

Аналіз отриманих даних (додаток) показує, що найбільш високий технічний рівень мають комбайни фірми Case (США), це моделі 7300, 6800, 6300, які в ранжованому ряду посіли відповідно перші місця. Вони відрізняються високою подачею $Q=740$ т/год, мінімальною габаритністю $G_M=0,06$ м³ год/т, мінімальною матеріаломісткістю $M_a=0,25...0,26$ кг-год/т, посередніми значеннями питомого тиску рушіїв на ґрунт $D_w = 101...105$ кПа, але досить високою питомою капіталомісткістю в 4,3-4,5 разів вищою відносно ідеального варіанту, якою є капіталомісткість ДОН 680.

Дещо гірші показники мають комбайни КСК-600, КВК-800(Гомсельмаш, Беларусь), ДОН 680 (РСМ, Росія). Вони мають невисоку капіталомісткість, за винятком КВК-800 та RSM-1401, та посередині значення інших критеріїв.

Ці машини, на нашу думку, можуть бути рекомендовані до використання в господарствах нашої країни.

Кормозбиральні комбайни фірми John Deere моделей 7950, 7750, 7550, 7450, 7350 та 7250, відрізняються дещо нижчою у 1,2-1,6 раза енергонасиченістю, але вищою у 2-2,5 раза матеріаломісткістю машин, високою в 3-4 раза енергоємністю технологічного процесу та габаритністю. Питомий тиск рушіїв в 1,6-2 разів вищий порівняно з ідеальним варіантом – комбайном фірми Claas 682S (ФРН). Питома капіталомісткість процесу також є в 9-15 разів вища ідеального варіанту.

Комбайни фірми Fendt (США) Katana 85 і Katana 65 мають в 2,26 разів нижчу пропускну здатність, високу габаритність, енергоємність процесу та матеріаломісткість. Відрізняються високим питомим тиском рушіїв, в межах 170-202 кПа та рекордно високою капіталомісткістю, яка перевищує ідеальний варіант в 4,6 разів.

Комбайни фірми Claas (ФРН) моделей 870, 860, 850, 840, 830 мають достатню подачу, питомий тиск рушіїв на ґрунт, енергоємність процесу, матеріаломісткість

та в 1,5-2,0 вищу енергонасиченість, але висока габаритність та капіталомісткість процесу, що в 6,2 разів вищі ідеального варіанту.

Моделі 695 Mega, 690SL, 682SL, 682S, 900 і 890 комбайнів цієї ж фірми, відрізняються меншими вдвічі пропускною здатністю та габаритністю. Кращими є показники матеріаломісткості, енергонасиченості та близькими до значень ідеального варіанту є питомий тиск рушіїв на ґрунт. Загальною ознакою всіх моделей фірми Claas є висока питома капіталомісткість процесу, що в 5,8-6,2 разів перевищує капіталомісткість ідеального варіанту.

Комбайни фірми Krone (ФРН) моделей BigX 480, BigX 630, BigX 700, BigX 850, BigX 1100. Мають високу енергонасиченість, зокрема Big1100 має $M_e = 0,05$ кВт/кг і є ідеальним варіантом цього критерія, серед 44 комбайнів світу. Габаритність, матеріаломісткість, питомий тиск рушіїв є досить значними. В 7,7 разів вищими є їх капіталомісткість.

Комбайни фірми New Holland (Італія) моделей FR 9040, FR 9050, FR 9060, FR 9080, FR 9090 мають посередні значення критеріїв, але вони є дорогими машинами, капіталомісткість процесу в 4,9 разів перевищує значення ідеального варіанту.

Кормозаготівельні комбайни ВО «Гомсельмаш» Білорусь у 1,5-1,7 разів поступаються за продуктивністю, в порівнянні з ідеальним варіантом, а енергоємність процесу наближається до значення ідеального варіанту. Комбайни матеріаломісткі та мають великі габарити і високу енергонасиченість. Питомий тиск рушіїв на ґрунт завищений. При цьому, капіталомісткість складає в 1,2-1,7 разів вищою базової моделі.

Конструктори RSM зуміли створити комбайн ДОН 680 з мінімальною, порівняно з іншими моделями, капіталомісткістю та достатньо високим технічним рівнем машини. Дещо поступається йому, за вищезазначеними критеріями, комбайн RSM 1401.



Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, завдяки виконаному дослідженню нами встановлено:

– пріоритетний ряд кормозбиральних комбайнів, у яких найбільшою мірою реалізовані сучасні досягнення науково-технічного прогресу, зокрема це комбайн фірми: Case 7300, 6800, 6300, 7800; ВО «Гомсельмаш» КСК – 600; РСМ Дон – 680; ВО «Гомсельмаш» КВК-80; РСМ RSM 1401; Claas 890 і Claas 900.

– тенденції до зростання продуктивності машин за рахунок підвищення енергонасиченості їх, які дають змогу забезпечити своєчасність збирання культур ціною зростання енергоємності процесу, збільшення матеріаломісткості, габаритності, питомого тиску на ґрунт та підвищення капіталомісткості процесу;

– підвищення рівня автоматизації, інтелектуалізації забезпечує зниження затрат праці при зростанні капіталомісткості збирання кормів;

– надання досліджуваній системі багатофункціональності призводить до ускладнення системи, до зростання її матеріаломісткості і енергоємності процесу збільшення техногенного тиску на навколишнє природне середовище.

Слід зазначити, що кінцевим має бути результат, який враховував би не лише позитивний вплив властивостей технічної системи на технологічний процес збирання кормів, а її природні та екологічні фактори, при допустимих затратах.

Література

1. **Резник Н.Е.** Кормоуборочные комбайны. – М: Машино-строение, 1980. – 375 с.
2. **Інновації механізації заготівлі та приготування кормів [Електронний ресурс].** – Режим доступу : <http://propositsiya.com.ua/innovatsiya-mehanizatsiyi-zagotivli-ta-prigotuvannya-kormiv>.
3. **Ефективність застосування кормозбиральних комбайнів [Електронний ресурс].** – Режим доступу: <http://www.lbw.gov.ua>.
4. **Прспект. Самохідні кормозбиральні комбайни.** 2012. – 83 с.
5. **Прспект. Силосоуборочные комбайны Ягуар 870, 860, 850, 840, 830.**
6. **Марченко В., Ткаченко О.** Пропозиції на ринку кормо-збиральних комбайнів // Пропозиція. – 2009. – №7. – С. 92–97.
7. **Конструкційні особливості кормозбиральних комбайнів [Електронний ресурс].** – Режим доступу: <http://propositsiya.com.ua/konstruktsiyni-osoblivosti-kormozbiralnih-kombayniv>.
8. **Krone Big X 630. Кормозбиральний комбайн 2016 року. [Електронний ресурс].** – Режим доступу: <http://zatechnica.com.ua>.
9. **Методические указания. Технический уровень и качество продукции. ГОСТ 27.004-85. Системы технологические.**
10. **Гуков Я.С., Адамчук В.В., Молодик М.В. та ін.** Механізація основних робіт при заготівлі кормів: Рекомендації. – Глеваха, 2006. – 55 с.
11. **Надикто В.Т., Крижачківський М.М., Кюрчев В.М., Абдула С.І.** Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві. – Мелітополь: «Видавничий будинок ММД», 2005. – 337 с.
12. **Федоренко В.Ф., Д.С.Буклагин, Е.Р.Аронов** та др. **Технические и технологические требования к перспективной с-х. технике.** – М.; ФБНУ «Росинформ-агротех», 2011. – 248 с.
13. **Кузьменко В.Ф.** Стан та тенденції зміни основних робочих органів кормозбиральних комбайнів // Конструювання, виробництво та експлуатація с-г машин. – Вип. 41, ч. 1. – С. 347–353.
14. **Сучасна техніка для заготівлі кормів [Електронний ресурс].** – Режим доступу : <http://www.agrobusiness.com.ua/mekhanizatsiia-ark/429-suchasna-tehnika-dlia-zagotivli-kormiv.htm>.
15. **Нагірний Ю.П., Бендера І.М., Вальвак С.Ф.** Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2013. – 214 с.
16. **Белжовський В.Н., Лаптев В.Н., Матвеев А.А. и др.** Шины для с.- х. техники. – М.: Химия, 1986. – 112 с.
17. **ДСТУ ISO 9001:2009 Система управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2000, ІДТ [Текст]/ Введ.22.06.2009. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 26 с.**