

УДК 631.354.2.003.1:662.75:657.471.7

Кравчук В., д-р техн. наук, професор, чл.-кор. НААН України, Занько М., канд. техн. наук (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

## Дослідження залежності питомих витрат палива від технічних параметрів та продуктивності зернозбирального комбайна

За результатами досліджень розроблено математичну багатофакторну модель показника «питомі витрати палива» зернозбиральних комбайнів різних типів та методи визначення цього показника в залежності від продуктивності комбайна і його параметрів.

**Ключові слова:** зернозбиральний комбайн; питомі витрати палива; технічні параметри молотарки; математичне моделювання; багатофакторна графічна залежність.

**Суть проблеми та її зв'язок з важливим науково-практичним завданням.** Зернозбиральні комбайни – важлива і складна група сільськогосподарської техніки, яка потребує об'єктивного оцінювання показників призначення на всіх етапах її створення та експлуатації. Особливою мірою це стосується експлуатаційних показників призначення, одним з яких є показник «питомі витрати палива ( $Q_n$ )». Цей показник характеризує витрати палива на одиницю виконаної роботи або отриманої продукції. Комбайни з різною функціональною здатністю характеризуються своїм  $Q_n$  [1] – властивою для них величиною питомих витрат, які дозволяють оцінити економічність технологічного процесу. Його розмірність може визначатись:

- у кілограмах на одиницю отриманої продукції (на 1 тонну зерна, отриманого на обмолоті технологічної культури) – кг/т;

- у кілограмах на одиницю виконаного обсягу роботи. На збиранні зернових та інших культур (ріпаку, сої, соняшнику, кукурудзи на зерно), призначених для комбайнового обмолоту, обліковою одиницею виконаної роботи є площа скошеної та обмолоченої технологічної культури – кг/га [1].

Абсолютне значення показника «питомі витрати палива» кожного комбайна першочергово визначається факторами, які характеризують його енергоспоживання, функціональну здатність (продуктивність), технологічний принцип обмолоту хлібної маси в молотарці та умови роботи (технологічну культуру і її урожайність) [1]. Однак в методиці досліджень цього показника, яку регламентують державні стандарти ГОСТ 24055-88 - ГОСТ 24059-88 [1], названі фактори не знаходять відповідного відображення: показник  $Q_n$  визначають за допомогою аналітичного розрахунку через інші показники призначення комбайна – витрачене паливо і продуктивність за 1 годину експлуатаційного часу.

При цьому значне число факторів (в тому числі і відмічених), які мають вплив на формування його величини, залишаються за полем уваги та аналізу. З точки зору об'єктивного аналізу та оцінювання названого показника така ситуація – неприпустима.

Значимість об'єктивного визначення показника питомих витрат палива для кожного комбайна зростає на етапі розроблення Технічного завдання або Технічних вимог на комбайн – під час обґрунтування експлуатаційно-технологічних та економічних показників його використання.

Ефективність використання комбайна в господарських умовах значною мірою визначається витратами палива протягом зміни, оптимальна кількість якого забезпечується роботою комбайна в економічному режимі. Вибір такого режиму можливий у разі об'єктивного і незалежного оцінювання показника питомих витрат палива і продуктивності, за яких досягається така витрата палива. Тому, дослідження показника питомих витрат палива з урахуванням всіх об'єктивних факторів, що на нього впливають, є досить актуальним і потребує застосування відповідних методів.

Таблиця 1

Показники призначення зернозбиральних комбайнів

Показник призначення	Значення показника комбайна					
	MF-9790	MF-7246 Activa	MF-7274 Cerea	Acros-530	Lexion-580 Claas	Полесьє-1218CX
Потужність двигуна, кВт	257	186	283	184	316	243
Тип молотарки	Роторна	Барабанна	Барабанна	Барабанна	Барабанна	Барабанна
<b>Умови та режим роботи:</b>						
Технологічна культура	Озима пшениця	Озима пшениця	Ріпак	Ріпак	Озима пшениця	Озима пшениця
Урожайність зерна, ц/га	50,4	65,0	51,2	40,7	49,9	40,2
Швидкість руху, км/год	6,4	4,5	6,4	6,4	4,3	6,8
Продуктивність, т/год / (га/год)	30,27 / 5,71	18,76 / 2,93	24,95 / 4,87	17,66 / 4,34	16,03 / 3,21	18,88 / 4,70
Питома витрата палива, кг/га / (кг/т)	8,88 / 1,76	10,4 / 1,60	9,10 / 1,77	7,57 / 1,85	9,70 / 2,25	10,40 / 2,6

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Експлуатаційно-технологічне оцінювання із застосуванням експериментальних методів [1] дає можливість визначити питомі витрати палива, але не дозволяє ідентифікувати досліджуваній комбайн за цим показником згідно з його параметрами, технологічними можливостями та умовами роботи. Це не дозволяє на різних етапах досліджень комбайна оцінити показник  $Q_n$  у відповідності з метою та завданнями випробувань.

Дослідження свідчать, що абсолютна величина питомих витрат палива, навіть для одного комбайна, має закономірність змінюватися в залежності від його енергозабезпечення та режиму роботи – продуктивності, робочої швидкості руху, технологічної культури та її урожайності [2]:

Застосування методики [1] для визначення питомих витрат має низку суттєвих недоліків. За результатами досліджень навіть однієї культури можна отримати лише його середнє значення, яке істотно відрізняється від оптимального і не дозволяє визначити економічно ефективний режим роботи комбайна. Реалізація методу можлива під час роботи досліджуваного комбайна в сезон збирання хлібів і потребує допоміжного комплексу спеціалізованих машин (обладнання), значних трудових та економічних витрат. Застосовувані методи і отримані результати не дають можливість встановити залежність між досліджуваним показником  $Q_n$  та технічними параметрами систем комбайна, які в той же час визначають величину експлуатаційної продуктивності комбайна та пов'язані з нею витрати палива на одиницю отриманої продукції. Проте ряд факторів, які впливають на формування показника продуктивності і величину питомих витрат палива, не знаходять відображення в абсолютній величині показника  $Q_n$ . З цих причин отриманий і використаний для ідентифікації результат – визначений показник  $Q_n$  обмежено застосовний для аналізу й оцінювання параметрів та конструкції, економічності всього технологічного процесу комбайна (скошування хлібної маси та подачі її в молотарку, обмолоту, сепарації та очищення зерна).

Аналіз свідчить, що достовірне та об'єктивне дослідження складних сільськогосподарських машин можливе за комплексного застосування різнопланових наукових методів та методичних підходів. Про це свідчать результати ефективного застосування методів багатофакторного експерименту, математичного і графічного моделювання [3-6].

За результатами досліджень [7] зроблено висновок, що зернозбиральний комбайн, з урахуванням його техніко-технологічної складності та принципу формування оцінювальних та функціональних показників призначення, необхідно розглядати як систему. З урахуванням цього на відповідному методичному рівні проведено багатофакторні дослідження, які дозволили ідентифікувати комбайн за низкою важливих показників призначення: об'ємом бункера для зерна, показником подачі технологічної маси на обмолот, якістю роботи – дробленням зерна барабанною молотильно-сепарувальною системою та втратами зерна за молотаркою [3-5].

З урахуванням складної залежності оцінювальних показників роботи комбайна із застосуванням експериментальних методів та методів математичного і графічного моделювання виконана робота "Исследование удельных затрат топлива зернозбирального комбайна" [8]. В ній представлено оптимізовану багатофакторну математичну модель показника  $Q_n$  за вхідними факторами, які обумовлюють вплив на його величину. Отримана модель враховує більшість факторів, які впливають на формування питомих витрат палива. Однак дослідження зміни абсолютної показника  $Q_n$  виконано в залежності лише від двох факторів – продуктивності комбайна за 1 годину основного часу ( $W_0$ , т/год) та площі основної системи сепарації зерна в молотильно-сепарувальній системі ( $S_i$ , м<sup>2</sup>), – на основі побудованої графічної залежності  $Q_n = f(W_0; S_i)$ . Аналіз впливу інших факторів на показник  $Q_n$ , які входять до складу розробленої математичної моделі, не досліджено. Встановлено, що аналітичні дослідження оцінюваного показника можливі також за участю інших факторів, які входять до її складу.

**Мета дослідження** – встановити залежність питомих витрат палива від технічних параметрів та продуктивності зернозбирального комбайна і на їх основі проаналізувати вплив параметрів показників призначення, які обумовлюють його величину.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Показник "питомі витрати палива" є комплексним, оскільки його величина залежить від значної множини чинників-факторів, що характеризують комбайн і кількісно визначають продуктивність та витрати палива при цьому: технічних параметрів основної технологічної системи – молотарки та витрат палива комбайном за 1 годину роботи. Його дослідження та вираження слід проводити у взаємозв'язку з чинниками (факторами), які мають на нього вплив [6]. Розроблена методика досліджень та план експерименту, у відповідності з методичними принципами побудови багатофакторного експерименту при дослідженні зернозбирального комбайна, дозволила реалізувати план експерименту в польових – реальних умовах та сформулювати масив даних. Із застосуванням методів математичного моделювання та прикладної математичної програми розроблено математичну модель (1) оптимальної складності показника  $Q_n$ . Особливістю її будови є те, що вона об'єднує показники призначення комбайна, які не мають між собою функціональної залежності:

$$Q_n = -0,01454W_0S_c + 1,5196S_c/V_6 + 0,6978/S_i + 7,9502V_6/W_0 + 0,04104BW_0 - 0,13, \quad (1)$$

де  $Q_n$  – питомі витрати палива комбайном за 1 годину експлуатаційного часу, кг/т;  $W_0$  – продуктивність комбайна за 1 годину основного часу, тонн/год;  $S_c$  – площа соломосепаратора грубого вороху (соломотрясу), м<sup>2</sup>;  $S_i$  – площа сепарації зерна молотильно-сепарувальних дек МСС;  $B$  – ширина молотарки, мм;  $V_6$  – об'єм бункера для зерна, м<sup>3</sup>.

Оцінювання адекватності значень показника  $Q_n$ , отриманих експериментально та згідно з моделлю (1), проведено із застосуванням дисперсійного аналізу. Порівняння дисперсій двох сукупностей значень показ-

ника  $Q_n$  – експериментальних ( $Q_n$ , експер.) і розрахункових ( $Q_n$ , розрах.) – згідно з математичною моделлю (1) проведено із застосуванням критерію Фішера –  $F$ . Отримано:  $F_p \leq F_{0,0}$  (при  $F_p = 1,29$  і  $F_{0,05} = 2,31$ ). Тому, розроблена математична модель (1) є адекватною отриманим експериментальним даним з імовірністю 0,95.

Застосування математичної моделі (1) та програми Microsoft Office Excel 2003 дозволяє ідентифікувати конкретний зернозбиральний комбайн (марку, технічні параметри, продуктивність та пропускну здатність) за показником  $Q_n$ . Для цього необхідно в математичній моделі (1) показникам  $W_o$ ,  $S_i$ ,  $B$ ,  $V_6$  і  $S_o$ , даного комбайна надати їх абсолютні значення, які можна визначити методом замірювання або взяти з ТЗ або ТУ на цей комбайн. Значення показника  $W_o$  – продуктивність комбайна за 1 годину основного часу визначають розрахунково з урахуванням проектного значення пропускну здатності молотарки цього комбайна.

Особливістю математичної моделі (1) є її методична здатність проводити моделювання та встановлювати залежність абсолютного значення показника  $Q_n$  від параметрів інших факторів, що входять до її складу. З урахуванням зазначеного побудовано графічні залежності  $Q_n = f(S_i; W_o)$ ,  $Q_n = f(W_o; S_i)$  і  $Q_n = f(N; W_o)$  (рис. 1-3).

Аналіз графічної залежності  $Q_n = f(S_i; W_o)$  (див. рис. 1) свідчить, що збільшення технічно-технологічних параметрів молотильно-сепарувальної системи – площі сепарації зерна в МСС – супроводжується зменшенням питомої витрати палива. Наприклад: площа дек для основної сепарації зерна в 0,83 м<sup>2</sup> за продуктивності 8,50 т/год обумовлює питомі витрати на рівні 3,20 кг/т; збільшення продуктивності цього ж комбайна, що можливе під час його роботи в обґрунтованому режимі 23,5 т/год, супроводжується зменшенням питомої витрати палива до 2,3 кг/т. Збільшення площі дек за його роботи в обґрунтованому режимі 23,5 т/год, при роботі у відмічених режими

Рис. 1 – Залежність питомої витрати палива від площі дек МСС та продуктивності комбайна за намолотому зерна –  $Q_n = f(S_i; W_o)$ , де 1 –  $W_o = 8,50$  т/год; 2 –  $W_o = 16,00$  т/год; 3 –  $W_o = 23,50$  т/год

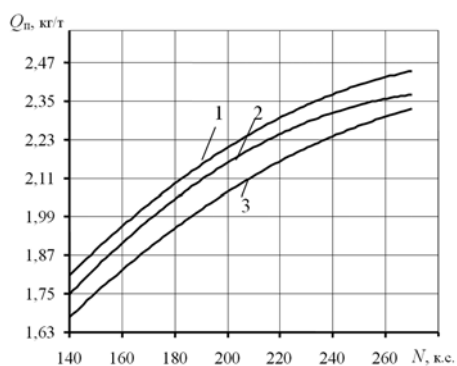


Рис. 2 – Залежність питомої витрати палива від енергозабезпечення (потужності двигуна) та продуктивності комбайна –  $Q_n = f(N; W_o)$ , де 1 –  $W_o = 8,50$  т/год; 2 –  $W_o = 16,00$  т/год; 3 –  $W_o = 23,50$  т/год

мах продуктивності 3,20 і 23,5 т/год, дозволяє отримати питомі витрати відповідно на рівні 2,50 та 1,70 кг/т. Аналіз цих даних та їх "прив'язка" до технічних параметрів МСС і оцінювальних показників в роботі – втрат зерна дозволяє обґрунтовано вибрати оптимальний режим роботи за величиною питомих витрат палива.

Проектне збільшення продуктивності комбайна неминуче пов'язане із збільшенням параметрів всіх його систем, в тому числі: маси комбайна, енергоспоживання (витрат енергії на виконання технологічного процесу всіма системами) та потужності двигуна. Це дозволяє проводити дослідження економічності технологічного процесу – питомих витрат палива в залежності від зазначених факторів (рис. 2). Потужність двигуна комбайна, як правило, збалансована з відміченими показниками. Побудована графічна залежність  $Q_n = f(N; W_o)$  дозволяє встановити фактичну величину показника  $Q_n$  в залежності від потужності двигуна та продуктивності комбайна, в режимі якої в конкретний проміжок часу працює комбайн. Її аналіз свідчить, що найменш енерговитратними та економічними є комбайни класу 5-9 кг/с з потужністю двигуна до 200 к.с.: питомі витрати палива цих комбайнів становлять 2,2 кг/т. Подальше енергонасичення комбайнів – використання в конструкції комбайна двигуна потужністю більше 200 к.с. – призводить до збільшеного та в деякій мірі неекономічного споживання потужності і витрат палива. Це в свою чергу сприяє збільшенню як загальних, так і питомих витрат палива. Слід зазначити, що робота комбайна в режимі подачі технологічної маси на обмолот, який значно нижчий проектно встановленого технічними умовами на комбайн, обумовлює неефективну витрату палива і, як наслідок – збільшення показника  $Q_n$ .

Аналогічні висновки щодо залежності питомих витрат палива від продуктивності комбайна та площі молотильно-сепарувальних дек МСС підтверджуються аналізом графічної залежності  $Q_n = f(W_o; S_i)$  (рис. 3). Незважаючи на збільшені енерговитрати в молотарках роторного типу [9], в яких площа обмолоту і сепарації зерна в МСС досягає 3,58 м<sup>2</sup>, ці комбайни працюють з незначними втратами зерна за молотаркою. Це дозволяє їм працювати з продуктивністю (наприклад, комбайн MF-9790, (див. табл. 1), яка значно перевищує продуктивність комбайнів барабанного типу з фактично ідентичними технічними параметрами (комбайн Полесьє-1218СХ). За рахунок цього фактора питомі

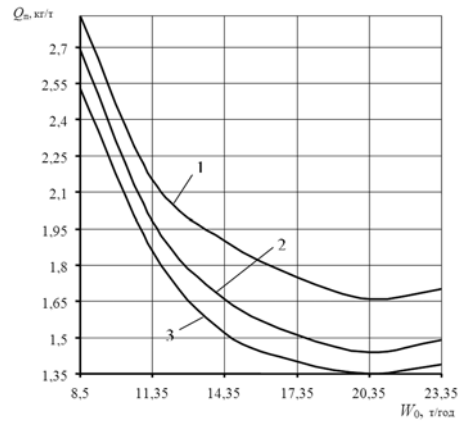


Рис. 3 – Залежність питомої витрати палива від продуктивності комбайна та площі молотильно-сепарувальних дек МСС –  $Q_n = f(W_o; S_i)$ , де 1 –  $S_i = 0,83$  м<sup>2</sup>; 2 –  $S_i = 1,78$  м<sup>2</sup>; 3 –  $S_i = 3,58$  м<sup>2</sup>

витрати палива комбайнами цього типу (зі збільшеною величиною площі системи основної сепарації зерна) менші майже на третину: у комбайна MF-9790 (фірми Massey Ferguson) вони становлять 1,76 кг/т проти 2,60 кг/т у комбайна з барабанною МСС – Полесьє-1218СХ.

#### Висновки

1. Питомі витрати палива зернозбирального комбайна є комплексним показником оцінювання технологічних і конструкційних параметрів зернозбирального комбайна. Його достовірні дослідження, ідентифікація та визначення абсолютної величини можливі з урахуванням багатофакторної залежності від параметрів систем та продуктивності комбайна.

2. Розроблена на основі багатофакторних досліджень математична модель показника питомих витрат палива (1) дозволяє без проведення експериментальних досліджень в полі та незалежно від агротермінів збирання хлібів з достатнім ступенем достовірності ідентифікувати та проводити його визначення у відповідності з технічними параметрами та проектним значенням продуктивності конкретного комбайна.

3. Найбільш ефективно та оперативне визначення показника питомих витрат палива можливе у відповідності з його залежністю від площі системи основної сепарації зерна МСС молотарки та продуктивності комбайна –  $Q_n = f(W_0; S_i)$ . Відповідну графічну залежність доцільно використовувати на всіх етапах досліджень цього показника, які потребують оперативності та об'єктивності.

#### Список літератури

1. ГОСТ 24055-88 – ГОСТ 24059-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: Изд-во стандарт., 1988. – 25 с.
2. Митрофанов О., Мележик В., Костюнін М. Машини для збирання зернових культур: дослідження та випробування // Зб. наук. праць. – Вип. 13(27): Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. – С. 241-247.
3. Моделирование сельскохозяйственных агрега-

тов и их систем управления // А.Б. Лурье, И.С. Нагорский, В.Г. Озеров / Под ред. А. Б. Лурье. – Л.: Колос, 1979. – С.6.

4. Занько Н.Д., Осипов Н.М. Моделирование потерь зерна за молотилкой комбайна // ISSN 0235-8573. Тр-ры и с.-х. машины. – 1997. – № 8. – С.27-28.

5. Жалнин Э.В., Баранов А.А., Сулейманов М. Среднестатистическая пропускная способность зерноуборочных комбайнов // ISSN 0235-8573. Тр-ры и с.-х. машины. – 1997. – № 8. – С.25-27.

6. Табашников А.Т. Научно-методическое обеспечение испытаний сельскохозяйственной техники: Дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук 05.20.01/Всероссийский науч.-исследов. и проект.-техн. институт механизации и электриф. сел. хоз-ва. – Волгоград, 1998. – С.37-40.

7. Василенко П.М., Погорелый Л.В. Основы научных исследований: Учеб. пособие. – К.: Вища школа, 1985. – 265 с.

8. Занько Н.Д. Исследование удельных затрат топлива зерноуборочного комбайна / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Вип. 75. – Т. 2: Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків, 2008. – С. 175-183.

9. Наконечний В., Коваль С. Зернозбиральні комбайни – клавшій чи роторний? // Амако-Інформ. Інформаційне науково-технічне видання. – 2008. – № 2. – С.22-25.

**Аннотация.** По результатам выполненных исследований разработана математическая многофакторная модель показателя удельных затрат топлива зерноуборочного комбайна с различным типом молотилки. На ее основе разработаны методы определения этого показателя в зависимости от производительности комбайна и параметров систем молотилки.

**Summary.** Effort were carried out for index "fuel rate" of combine harvester. Simulator and pictorial model were made for index "fuel rate". Methods of determining of fuel rate were developed according to engineering data of combine harvester.

Стаття надійшла до редакції 4 лютого 2013 р.