

УДК 631.354.2:531.01

## ГРАФІЧНЕ І МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКА “ОБ’ЄМ БУНКЕРА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА”

**В.І. Недовесов**, канд. техн. наук  
ННЦ “ІМЕСГ”;

**М.Д. Занько**, канд. техн. наук  
УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

---

*Проведено дослідження та розроблені багатofакторні математична і графічна моделі показника “об’єм бункера зернозбирального комбайна” в залежності від параметрів основних показників призначення комбайна.*

*Ключові слова: математична і графічна модель, об’єм бункера.*

---

**Постановка проблеми та її зв’язок з важливими науково-практичними завданнями.** Бункер для зерна зернозбирального комбайна (далі по тексті – бункер) – заключна технологічна система комбайна, що призначена для отримання зерна після його проходження всіх технологічних систем молотарки, накопичення, одночасного транспортування по полю при цьому та тимчасового зберігання до кінця циклу “наповнення бункера зерном”. Від величини його місткості залежить ряд показників призначення та умови експлуатації комбайна:

- частота розвантаження бункера від зерна і пов’язані з ним коефіцієнт ефективності використання робочого часу зміни та продуктивність за 1 годину експлуатаційного часу;
- опір перекочуванню комбайна, при виконанні ним технологічного процесу в полі, та пов’язані з ним затрати потужності двигуна і витрати пального;
- маса зерна, що накопичується в ньому;
- експлуатаційне завантаження на двигун і питомі витрати пального;
- навантаження на раму комбайна та пов’язані з ним обґрунтування і вибір конструкційних матеріалів, маси та технічної надійності всієї конструкції молотарки, на якій монтується бункер.

Питання об’єктивного визначення об’єму бункера та застосування

для цього відповідної методики постає також при розробці НТД комбайна нової моделі (марки) з установленою продуктивністю. Оцінка відповідності фактичних і проектних параметрів бункера в особливій мірі необхідна на етапі попередніх випробувань, коли проводиться узгодження та оцінка параметрів всіх систем комбайна на предмет відповідності вимогам ТЗ на даний комбайн. Питання визначення об'єму бункера є невід'ємним питанням створення та досліджень параметрів зернозбирального комбайна. Тому актуальність його досліджень та необхідність науково-методичного забезпечення подібного роду робіт є очевидним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичні основи розрахунку параметрів машин для збирання зернових культур [1] рекомендують визначати об'єм бункера зернозбирального комбайна з розрахунку  $0,45-0,75 \text{ м}^3$  на одиницю пропускної здатності молотарки. Причому, менше значення –  $0,45 \text{ м}^3$  рекомендоване для комбайнів з меншою пропускною здатністю молотарки, а більше –  $0,75 \text{ м}^3$  для молотарок з більшою пропускною здатністю.

З позиції ефективності завантаження та експлуатації автомобілів, що транспортують зерно від комбайна в полі до стаціонарного зерносховища, об'єм бункера повинен бути рівним або кратним об'єму кузова автомобіля [1].

Розрахункове визначення об'єму бункера можливе при застосуванні аналітичної залежності (136) [1], яка враховує об'ємну масу зерна і солоність основної технологічної культури, коефіцієнт використання об'єму бункера та пропускну здатність молотарки даного комбайна.

Дослідження взаємозв'язку параметрів різних систем комбайна [2] свідчить, що об'єм бункера має високий коефіцієнт множинної кореляції з показником його пропускної здатності. Така залежність дозволяє провести визначення об'єму з певним рівнем достовірності.

В дослідницькій роботі “Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов” [3] для розрахунку об'єму бункера рекомендується використати параметричний індекс комбайна -  $i_k$ . Його величину для кожного комбайна визначено за результатами досліджень зернозбиральних комбайнів з різними технологічними схемами обмолоту хлібної маси та продуктивністю. Групи комбайнів, подібних по технологічному призначенню і принципу обмолоту хлібної маси, об'єднано за принципом ідентичності конструкції. Це дозволяє методично представити все сімейство комбайнів у вигляді *системи подібних* з загальною розмірною характеристикою в якості признаку поді-

бності. У відповідності з цим введено поняття “параметричний індекс комбайна”, який виражається критеріальним рівнянням, що зв’язує в один функціонал узагальнені параметри комбайна. У відповідності з ним об’єм бункера для зерна комбайнів з барабанною молотаркою можна визначити згідно рівняння:

$$V_{\sigma} = 0,5q_m + 0,5, \quad (1)$$

де  $V_{\sigma}$  – об’єм бункера, м<sup>3</sup>;  $q_m$  – пропускна здатність молотарки (теоретична), кг/с; 0,5 – коефіцієнт.

Слід відзначити, що розташування бункера – на рамі молотарки, – і здатність конструкції всього комбайна нести силове навантаження при заповненому зерном бункері можливі тільки при відповідній несучій здатності конструкції молотарки, в основі якої лежать системи обмолоту, сепарації та очищення зерна. Крім того, транспортування по полю такої додаткової маси, якою в процесі роботи комбайна в полі є бункер із зерном, протягом значного проміжку часу технологічного циклу наповнення бункера, можливе при відповідному енергозабезпеченні. Відзначене свідчить про те, що конструкційне виконання та технічні параметри бункера повинні відповідати ряду вимог. Але основна із них – об’єм бункера повинен відповідати принципу “гармонічності конструкції” [4]. Тобто, його об’єм повинен перебувати у певній пропорційній залежності з іншими технічними і технологічними параметрами комбайна. У відповідності з цим **сформульовано мету даної статті: встановлення залежності та побудова математичної і графічної залежностей показника «об’єм бункера зернозбирального комбайна».**

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Параметри бункера, як допоміжної технологічної системи, закономірно підпорядковані під параметри молотарки та комбайна і спрямовані на максимально ефективну реалізацію потенціальних можливостей молотарки по пропускній здатності в умовах експлуатації. В якості оціночної характеристики прийнято його об’єм -  $V_{\sigma}$  (м<sup>3</sup>). Встановлений рівень продуктивності комбайна ( $q_n$ , кг/с) [5] першочергово можливий при певних параметрах молотарки та енергозабезпечення. В якості їх характеристик прийняті площа остаточної сепарації зерна – соломотряса ( $S_c$ , м<sup>2</sup>) та решіт системи очищення зерна ( $S_o$ , м<sup>2</sup>), ширина молотарки ( $B$ , мм) і потужність двигуна ( $N$ , кВт). Між даними показниками відсутня функціональна залежність. Однак, відповідна закономірність зв’язку між параметрами відзначених характеристик властива для комбайнів



з відпрацьованою конструкцією, що в достатній мірі характерно для комбайнів серійного виробництва. У відповідності з цією гіпотезою розроблено у загальному вигляді залежність, що характеризує зв'язок параметрів відзначених показників:

$$V_{\sigma} = f(q_k; N; S_o; S_c; B), \quad (2)$$

де  $q_k$  – пропускна здатність комбайна, кг/с;  $V_{\sigma}$  – об'єм бункера для зерна, м<sup>3</sup>;  $N$  – потужність двигуна, кВт;  $S_o$  – площа решіт системи очищення зерна, м<sup>2</sup>;  $S_c$  – площа системи остаточної сепарації зерна, м<sup>2</sup>.

Поєднання у вигляді виразу показників, зв'язок між якими не характеризується функціональною залежністю, можливе за допомогою математичних методів та моделювання. Для розробки моделі показника  $V_{\sigma}$  сформовано масив даних [6]. До його складу включено параметри прийнятих технічних характеристик залежності (2) серійних комбайнів з молотаркою барабанного типу. Побудова його у відповідності з методами багатofакторного експерименту [6] дозволила включити параметри комбайнів значного діапазону:  $S_o = [4,11- 5,83]$  м<sup>2</sup>,  $q_k = [4,8-10,2]$  кг/с,  $V_{\sigma} = [5,0- 8,5]$  м<sup>3</sup>,  $N = [103-199]$  кВт.

**Таблиця.** План експерименту та значення вхідних факторів при дослідженні показника об'єму бункера для зерна (фрагмент)

№ п/п	Марка комбайна	Показники призначення					
		$B, \text{м}$	$N, \text{кВт}$	$S_c, \text{м}^2$	$S_o, \text{м}^2$	$V_{\sigma}, \text{експер.}$	$V_{\sigma}, \text{теорем.}$
1	Do-88 SL Maxi Claas	1,32	115	5,95	4,25	5,2	5,3
2	Do-108 SL Maxi Claas	1,58	163	7,95	5,10	8,0	7,2
3	Claas Lexion -410	1,42	140	7,52	4,40	6,3	6,3
4	Claas Lexion -420	1,42	160	8,23	4,80	7,3	7,0
5	Claas Lexion -430	1,42	176	8,23	4,80	7,8	7,4
6	Claas Lexion -440	1,70	184	9,85	5,80	8,1	8,0
-	-	-	-	-	-	-	-
37	D-F Topliner-4060 HTS	1,27	125	6,55	4,75	6,5	6,5
38	NH TX - 68	1,56	206	7,72	6,50	9,5	9,2
39	MF-40 RS Massey Ferguson	1,68	221	8,84	5,40	7,9	8,2

Параметри показників  $S_c$ ,  $S_o$ ,  $V_{\sigma}$  і  $B$  визначені згідно методів КД

46.16.02.03-93 [7].

Пропускна здатність комбайнів (при втратах зерна за молотаркою 1,5%) визначена по результатами експлуатаційно-технологічної оцінки у відповідності з методами ГОСТ 24055-88 - ГОСТ 24059-88 [8].

Потужність двигуна комбайнів визначена при проведенні державних випробуваннях комбайнів у відповідності з вимогами ГОСТ 28301-89 [5] за методом проведення енергетичної оцінки КНД 46.16.02.09-95[9].

Обробка результатів досліджень (табл.) проведено із застосуванням прикладної програми та методів математичного моделювання, що не суперечить вимогам ГОСТ 16504-81 [9] до методів визначення кількісних характеристик об'єкта досліджень, яким у даному випадку є бункер для зерна.

Розроблено математичну модель, яка ідентифікує бункер по показнику його об'єму в залежності від параметрів основних технічних характеристик молотарки і комбайна:

$$V_{\phi} = 0,008NS_{\phi} - 441,83/N - 0,1 S_c S_{\phi} - 0,048BS_c - 0,26 N/S_c + 13,19, \quad (2)$$

де  $V_{\phi}$  - об'єм бункера для зерна, м<sup>3</sup>;  $N$  - потужність двигуна, кВт;  $S_{\phi}$  - площа системи (решіт) очищення зерна, м<sup>2</sup>;  $S_c$  - площа системи сепарації зерна, м<sup>2</sup>.

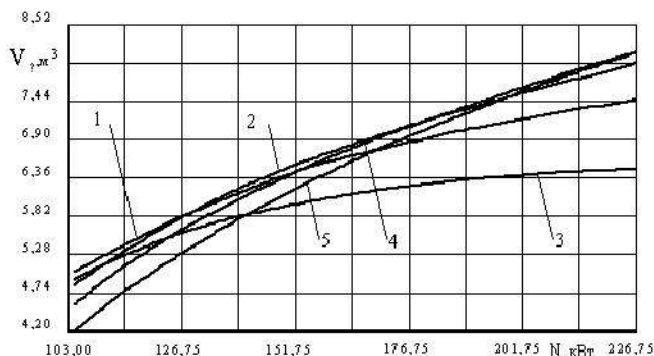
Оцінку адекватності залежності (3) проведено з допомогою критерію Фішера ( $F$ ):  $F_{\text{факт}} \leq F_{\text{крит}}$  (при  $F_{\text{розрах}} = 1,01$  і  $F_{\text{крит}} = 1,69$ ). Отже, вона є адекватною результатам експерименту (див. табл.) з імовірністю 0,95.

Особливістю математичної моделі (3) є її методична і практична здатність проводити моделювання та встановлювати залежність абсолютного значення показника  $V_{\phi}$  від параметрів інших факторів, що входять до її складу. З урахуванням відзначеного та з метою аналізу зв'язку між вхідними факторами побудовано графічну залежність-модель  $V_{\phi} = f(N; S_{\phi})$  і  $V_{\phi} = f(S_c; S_{\phi})$  (рис. 1).

Аналіз графічних залежностей (рис.) свідчить, що збільшення параметрів соломотряса, площі решіт системи очищення зерна і потужності використовуваного двигуна, які, як правило, пов'язані із збільшенням функціональної здатності і продуктивності комбайна, обумовлює потребу і можливість збільшити об'єм бункера для зерна.

Графічна залежність  $V_{\phi} = f(N; S_{\phi})$  (рис.) дозволяє визначити об'єм бункера та провести порівняльну оцінку його величини на предмет погодження з іншими параметрами конструкції молотарки, із застосу-

ванням відповідної методики.



**Рис.** Залежність об'єму бункера від енергозабезпечення комбайна та площі соломотряса молотарки –  $V_b = f(N; S_c)$ , де 1 –  $S_c = 4,13$  м²; 2 –  $S_c = 4,72$  м²; 3 –  $S_c = 5,31$  м²; 4 –  $S_c = 5,90$  м²; 5 –  $S_c = 6,50$  м².

Достовірність визначення об'єму бункера згідно даної методики достатньо висока - середньоквадратична похибка математичної моделі (2), на базі якої побудована графічна залежність  $V_b = f(N; S_c)$  (див. рис.) менша 0,46 %, що свідчить про її адекватність.

Аналогічні дослідження параметрів показників, які входять до складу математичної моделі (3), доцільно проводити на етапі розроблення технічного завдання або вихідних вимог на комбайн встановленої продуктивності.

### Висновки

Розроблені багатофакторні математична і графічна моделі показника «об'єм бункера» ідентифікують комбайн по даному показнику і дозволяють проводити його визначення згідно прийнятих параметрів  $N$  і  $S_c$  з достатнім ступенем достовірності.

### БІБЛІОГРАФІЯ.

1. Гуров И.Н., Кленин Н.И., Попов И.Ф., Смирнов И.И. Машины для уборки и обработки зерновых культур / Теория, конструкция, расчет / Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1964. – С. 187-188.
2. Жалнин Э.В., Баранов А.А., Сулейманов М. Среднестатистическая пропускная способность зерноуборочных комбайнов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1997. - № 8. - С.25-27.
3. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных ком-



- байнов // Российская академия сельскохозяйственных наук. – М. - 2001. – С.25 -27.
4. Жалнин Э.В. Перспективные принципы совершенствования зерноуборочных комбайнов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1986.- № 9. – С.15.
  5. ГОСТ 28301-89. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 18 с.
  6. Занько М. Обґрунтування загальних принципів вдосконалення діючих методів досліджень та оцінки молотарки при випробуваннях зернозбирального комбайна // Зб. наук. праць, вип. 2/14: Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке, 1999. – С.34-40.
  7. КД 46.16.02.03-93. Техніка сільськогосподарська. Класифікаційні показники. Методи визначення. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ, 1993. - 28с.
  8. ГОСТ 24055-88 - ГОСТ 24059-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно - технологической оценки. – М.: Изд-во стандартов. 1988. - 25с.
  9. Керівний нормативний документ КНД 46.16.02.09-95. Випробування сільськогосподарської техніки. Методи енергетичної оцінки. – Дослідницьке, 1995. – 15с.
- 

#### **ГРАФИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ «ОБЪЕМ БУНКЕРА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА»**

*Проведены исследования, за результатами которых разработаны математическая и графическая многофакторные модели показателя “объем бункера зерноуборочного комбайна” в зависимости от параметров основных показателей назначения комбайна.*

**Ключевые слова:** математическая и графическая модель, объем бункера.

#### **GRAPHICAL AND MATHEMATICAL MODELING PARAMETER «AMOUNT OF BUNKERS COMBINE HARVESTER»**

*Investigation was conducted, and mathematical multivariate model as well as graphics multivariate model of “bunker’s volume of combine harvester” indicator were developed. Model includes basic indicators of combine’s appointment.*

**Key words:** mathematical and graphical model, the volume of the bunker.