

РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОКАЗНИКА ВТРАТИ ЗЕРНА ЗА МОЛОТАРКОЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

Халін С., канд. екон. наук,
<https://orcid.org/0000-0002-7510-5056>
 Занько М., канд. техн. наук,
<https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>,
 Гайдай Т., канд. техн. наук,
<https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>,
 Степченко С.,
<https://orcid.org/0000-0003-2808-9644>,
 Лень О.
<https://orcid.org/0000-0003-0454-119X>
 ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета досліджень: розробити багатофакторну математичну модель показника втрати зерна за молотаркою зернозбирального комбайна барабанного типу з урахуванням зв'язку та залежності між елементами різних груп факторів, які характеризують молотарку як систему.

Методи і матеріали. Застосування методу аналізу дає змогу виокремити у складі молотарки її структурні й функціональні системи, зокрема комплексну молотильно-сепарувальну систему (КМСС) молотарки і досліджувати її з урахуванням технічних параметрів, технологічних режимів та умов роботи незалежно від інших систем. Згідно з методом синтезу експериментально досліджено показник втрат зерна при умові цілісної єдності і взаємозв'язку технічних і технологічних систем молотарки. Визначення втрат зерна за молотаркою комбайна в різних умовах за вологістю зерна й соломи при різних режимах подачі технологічної маси на обмолот реалізовано експериментально в реальних господарських умовах. Розробку математичної моделі показника втрат зерна виконано із застосуванням методів математичного моделювання.

Результати. Для встановлення зв'язку та залежності показника втрат зерна Δq від факторів, до яких віднесені технічні параметри, технологічні режими та умови роботи використано графічну модель молотарки на рівні цих показників і факторів впливу на них. Визначальною системою відповідно до технологічної ролі у формуванні рівня втрат Δq (%) прийняті параметри комплексної молотильно-сепарувальної системи. Оціночним показником якості роботи молотарки були сумарні втрати зерна при різних режимах подачі хлібної маси на обмолот. Фактором впливу також прийнято вологість соломи і вагове співвідношення зерна та соломи – солемистість.

Проведено багатофакторний експеримент із визначення втрат зерна молотарками зернозбиральних комбайнів барабанного типу різної продуктивності. Аналіз отриманих експериментальних даних засвідчив таке:

- 1) молотарка, технічні параметри якої спрямовані на забезпечення більшої пропускної здатності, меншою мірою реагує на «важкі» умови роботи, для яких характерні значна вологість соломи (до 30%) та солемистість (до 1,60). Це проявляється у її здатності працювати при втратах зерна менше 1,5% та високих режимах подач – пропускній здатності у 12-14 кг/с;
- 2) вологість соломи та її кількість (солемистість) зумовлюють вплив на якість функціонування молотарки: збільшення (зменшення) вологості соломи (або солемистості) зумовлює відповідне збільшення (зменшення) втрат зерна;
- 3) при проведенні оцінки в екстремальних умовах (вологість соломи близька до 30% та соло-

мистості – 1:1,6) менші втрати зерна мають молотарки з більшим значенням загальної ефективної довжини системи КМСС.

Аналіз моделі показника Δq свідчить, що втрати зерна зворотно-пропорційно залежать від величини ефективної довжини системи КМСС. Інтенсивність процесів обмолоту, сепарації та очищення зерна в молотарці значною мірою обумовлені станом технологічної маси – вологістю соломи та її кількістю (соломистістю). Відповідно до них процеси сепарації зерна із соломи мають різний рівень інтенсивності та, відповідно, рівень втрат.

Висновки. Втрати зерна за молотаркою зернозбирального комбайна моделюються з достатнім рівнем достовірності. В основі математичного моделювання показника втрат зерна є застосування багатofакторного експерименту. Розроблена математична багатofакторна модель показника втрат зерна з ймовірністю 0,95 характеризує залежність втрат від ефективної довжини комплексної системи сепарації зерна, подачі технологічної маси на обмолот, соломистості хлібної маси та вологості соломи.

Ключові слова: зернозбиральний комбайн, молотарка барабанного типу, комплексна молотильно-сепарувальна система, втрати зерна за молотаркою, математичне моделювання.

Вступ. Сучасні комбайни характеризуються високою продуктивністю обмолоту. З нею узгоджуються технічні параметри комбайна і мінімальна кількість втрат зерна за молотаркою [Navid et al., 2000]. Втрати поділяються на втрати при обмолоті та при очищенні зерна. Опис процесів молотарки – обмолоту та сепарації зерна математичними моделями – є першим кроком в ідентифікації та мінімізації втрат комбайна.

На продуктивність комбайна впливають два важливі фактори: пропускна здатність (інтенсивність подачі), яка є функцією швидкості комбайна та врожайності, і продуктивність молотарки, яка є функцією від режиму роботи молотильної системи та її технічних розмірів [Trollope, 1982; Miu & Kutzbach, 2000].

Однак варто відмітити відсутність достатньої наукової та методичної бази досліджень такої складної системи, як молотарка, на багатofакторному рівні, а отримані результати досліджень молотарки (навіть одного типу) – розрізнені і знаходяться на рівні моделювання та аналітичного аналізу окремої молотарки.

Визначення втрат за молотаркою зернозбирального комбайна (Δq , %) в практиці досліджень проводиться за планом одnofакторного експерименту – залежно від подачі технологічної маси на обмолот (Q , кг/с). Отримані експериментальні дані реалізуються у графічну залежність $\Delta q = f(Q)$

[Занько, Осіпов, 1997; 1998; Русанов, 1998; Занько, 1999]. Аналіз результатів досліджень показника Δq свідчить, що це комплексний показник, і його величину визначає група факторів:

$$\Delta q = f(U_i; X_i; Z_i), \quad (1)$$

де X_i ($i = 1 \dots n$) – технічні параметри технологічних систем,

Z_i ($i = 1 \dots m$) – характеристики хлібної маси (умови роботи),

U_i ($i = 1 \dots k$) – технологічні режими роботи.

Тобто значна кількість факторів, що впливають на результат (оцінюваний показник) експерименту, у подальшому не знаходять відображення у вигляді залежності, закономірності чи моделі та фактично враховуються лише умовно, у вигляді інформаційного матеріалу, особливо це стосується групи факторів, що визначають умови роботи. Основні фактори – вологість соломи та соломистість, при яких виконується визначення втрат зерна за молотаркою, не відображаються аналітично у результатах проведених досліджень та аналізі при його оцінці. Такий методичний підхід тіотримані результати не сприяють виконанню багатостороннього аналізу формування показника втрат зерна та його залежності від інших факторів, що не відповідає достовірності й об'єктивності досліджень такого склад-

ного об'єкта, якою є молотарка [Занько, 2010; Гусар, 2014].

Постановка завдань. Математичне моделювання показника втрат зерна за молотаркою базується на використанні встановлених функціональних та інших зв'язків комплексної молотильно-сепарувальної системи (КМСС) з режимами та умовами її роботи як факторами, що належать і властиві цій підсистемі. Такий методичний підхід до молотарки дає змогу встановити зв'язок між її складовими елементами — технологічними системами, досліджувати кожну її систему як окрему (автономну), умовно незалежну та проводити конкретний аналіз конструкції або технологічної схеми, об'єктивно оцінювати конструкції — технічні параметри та втрати зерна за молотаркою.

Метою роботи є розробка багатфакторної математичної моделі показника втрат зерна молотаркою зернозбирального комбайна барабанного типу з урахуванням взаємозв'язку між елементами різних груп факторів, які характеризують молотарку як систему.

Матеріали і методи. Системний принцип побудови, комбінований принцип функціонування, нові інтегративні якості технологічної маси на різних ділянках молотарки, залежність оціночних показників роботи від великої групи чинників (факторів) впливу дають змогу охарактеризувати молотарку зернозбирального комбайна як систему. У відповідності з цим для її досліджень застосовано методи аналізу і синтезу. Застосування методу аналізу дає змогу виокремити у складі молотарки її структурні й функціональні системи, зокрема КМСС, і досліджувати її з урахуванням технічних параметрів, технологічних режимів та умов роботи незалежно від інших систем. Метод синтезу дає змогу експериментально досліджувати показник втрат зерна при умові цілісної єдності і взаємозв'язку технічних і технологічних систем молотарки. Визначення втрат зерна за молотаркою комбайна за різної вологості зерна і соломи при різних режимах подачі технологічної маси на

обмолот реалізовано експериментально в реальних господарських умовах. Розробку математичної моделі показника втрат зерна виконано із застосуванням методів математичного моделювання.

Для опису якості процесу обмолоту та сепарації зерна в барабанних молотарках використано комплексну й унітарну стохастичну математичну модель [Miu & Kutzbach, 2000]. Отримані рівняння описують і кількісно визначають відсоток необмолоченого, вільного та відокремленого зерна довжиною КМСС молотарки. До неї відноситься довжина молотильно-сепарувальної деки барабанної системи, розгорнутої в напрямку руху технологічної маси, та довжина сепарувальної поверхні клавіші соломотрусу. Також кількісно було визначено втрати при обмолоті і сепарації зерна. Ефективність моделі підтверджена даними кількості необмолоченого, вільного та відокремленого зерна довжиною КМСС молотарки, отриманих під час експериментальних випробувань тангенціальних молотарок барабанного типу. Експериментальні дослідження з використанням рандомізованого повного блоку з трьома повторами реалізовано на базі двох факторів (кожний — на трьох рівнях): швидкості потоку зерна та продуктивності молотарки. У ході експерименту вимірювалися загальні втрати за молотаркою.

Результати досліджень. Для встановлення зв'язку та залежності показника втрат зерна Δq від факторів, до яких віднесені технічні параметри, технологічні режими та умови роботи використано графічну модель молотарки на рівні цих показників і факторів впливу на них (рис. 1) [Занько, 2010].

Графічна модель молотарки (рис. 1) дає змогу першочергово встановити залежність функціональних показників від оціночних та інших. Це, як правило, пропускна здатність та оціночні показники роботи, зокрема сумарні втрати зерна. Для побудови такої узагальненої залежності необхідно на схемі виділити своєрідний «функціональний блок», який базу-

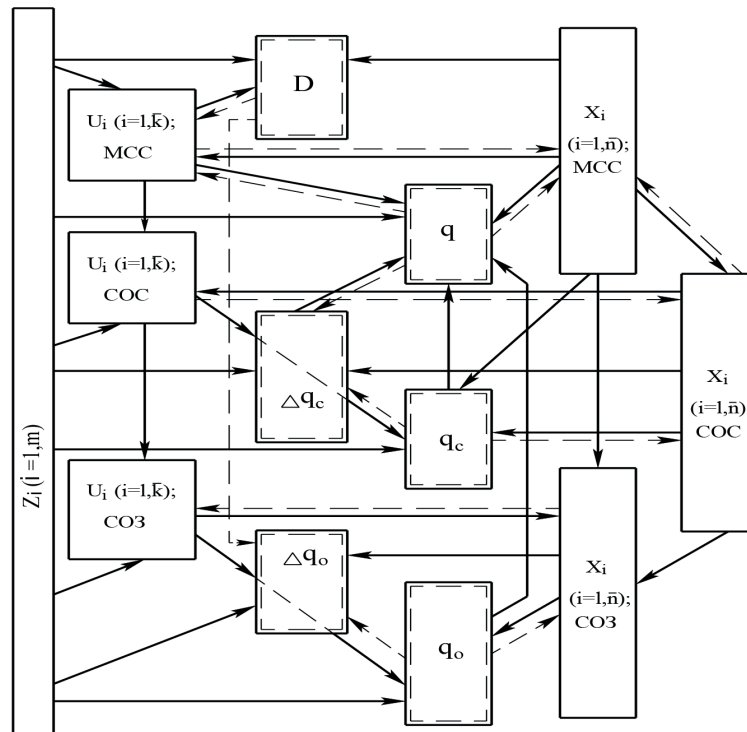


Рисунок 1 – Графічна модель молотарки барабанного типу на рівні показників призначення:

$X_i (i = 1, n)$ – технічні параметри; $U_i (i = 1, k)$ – технологічні режими; $Z_i (i=1, m)$ – умови роботи; q_c – пропускна здатність системи сепарації (соломотруса); q_o – пропускна здатність системи очищення зерна, $\rightarrow$ – функціональні відношення прямого впливу та зворотної підпорядкованості

ється на оцінювальному (досліджуваному) показнику та факторах, які мають на нього так званий *прямий вплив* (позначені символом $\rightarrow$). Наприклад, дослідження одного з показників режиму роботи системи очищення зерна – $U_{i(CO3)}$, необхідно розпочати з побудови його залежності у загальному вигляді. До її складу повинні ввійти певні показники з груп факторів $U_{i(COC)}$, $U_{i(MCC)}$, $Z_{i(CO3)}$, які «зв'язані» з цією групою показників вхідним символом « $\rightarrow$ »:

$$\begin{aligned} U_{i(CO3)} = f(U_{i(COC)}, \\ U_{i(MCC)}, Z_{i(CO3)}), \end{aligned} \quad (2)$$

Кількісна оцінка впливу умов роботи на кількість втрат можлива при взаємодії технологічної маси із системами молотарки. Визначальною системою відповідно до технологічної ролі у формуванні рівня втрат прийнято параметри системи КМСС. Відповідно до виконуваної функції сепарації зерна до неї віднесені молотильно-сепарувальна система (МСС) і система

остаточної сепарації зерна – соломотрус. Визначальний технічний параметр системи КМСС – загальна ефективна довжина системи L , прийнятий фактором, який найбільшою мірою враховує конструкційні фактори та час взаємодії технологічної маси із системою обмолоту та сепарації грубого вороху, а також рівень впливу на формування рівня втрат зерна. До її складу входить розгорнута у напрямку руху технологічної маси довжина поверхні сепарувальних дек молотильної системи – li та ефективна довжина сепарувальної поверхні соломотрусу le , яка визначена як сума ефективних довжин каскадів класифікаторів. Оціночним показником якості роботи молотарки визначено сумарні втрати зерна при різних режимах подачі хлібної маси на обмолот – пропускну здатність при їхній рівності, відповідно Q і q (кг/с). Факторами, які в нашому дослідженні характеризують технологічну культуру, прийнято вологість соломи Wc і вагове співвідношення зерна та соломи – солоmistість (γ). Відповідно до виконаного

обґрунтування загальний вигляд залежності показника втрат зерна за молотаркою барабанного типу з клавійним соломотором можна представити так:

$$\Delta q = f(L; Q; Wc; \gamma), \quad (3)$$

де Wc – вологість соломи, %;

Q – подача технологічної маси на обмолот, кг/с;

γ – солемистість хлібної маси;

L – ефективна довжина системи КМСС, м.

Для реалізації залежності (3) в більш конкретну залежність (модель) проведено багатофакторний експеримент із визначення втрат зерна молотаркою групи зернозбиральних комбайнів барабанного типу з різною продуктивністю (табл. 1).

Комбайн при кожному досліді здійснював пряме комбайнування озимої пшениці, вологість соломи якої становила

6,5-46,8%, а солемистість незернової частини урожаю (НЧУ) – $\gamma = 0,69-1,60$. При цьому молотарка кожного комбайна працювала в режимі подач, близькому до її проектної пропускної спроможності. Відділення наявного зерна (втрат) у технологічному воросі (обмолочена солома + полова), отриманого за молотаркою при кожному досліді, проводилося на розробленій лабораторній установці.

Аналіз результатів експериментальних досліджень (табл. 1) свідчить про таке:

1) молотарка, технічні параметри якої спрямовані на забезпечення більшої пропускної здатності, меншою мірою реагує на важкі умови роботи, для яких характерні значна вологість соломи (до 30%) та солемистість (до 1,60). Це проявляється у її здатності працювати при втратах менше 1,5% та режимах подач – пропускної здатності у 12-14 кг/с;

2) вологість соломи та її кількість (со-

Таблиця 1 – План багатофакторного експерименту та результати досліджень втрат зерна за молотаркою

№ п/п	Номер молотарки	Фактори				Оціночний показник
		$Wc, \%$	γ	$L, м$	$Q, кг/с$	$\Delta q, \%$
		x_1	x_2	x_3	x_4	Y
1	I	32,0	0,69	5,47	13,20	0,81
2	I	20,0	0,76	5,47	11,50	0,90
3	II	13,9	0,80	5,12	5,60	1,38
4	III	18,0	0,82	5,47	11,30	0,76
-	-	-	-	-	-	-
8	VII	31,0	0,98	5,47	13,80	1,16
9	VII	38,9	1,00	5,47	7,90	1,15
10	VIII	46,8	1,10	5,00	8,48	1,07
11	XI	13,9	1,15	4,41	5,85	1,50
-	-	-	-	-	-	-
27	IX	18,3	1,16	5,31	7,10	1,39
28	IX	18,3	1,16	5,31	7,10	1,39
29	X	11,0	1,30	5,00	6,90	1,33
30	XI	11,0	1,30	5,00	7,40	1,47
-	-	-	-	-	-	-
35	XVI	14,6	1,49	4,63	6,90	1,56
36	XVII	11,4	1,56	4,33	6,09	1,58
37	XVIII	11,4	1,60	4,33	6,21	1,63
38	XVIII	24,5	1,60	5,03	7,13	1,58

ломистість) зумовлюють вплив на якість функціонування молотарки: збільшення (зменшення) вологості соломи (або соломистості) зумовлює відповідне збільшення (зменшення) втрат зерна;

3) при проведенні оцінки в екстремальних умовах (вологість соломи близька до 30% та $\gamma = 1:1,6$) менші втрати зерна мають молотарки з більшим значенням показника L системи КМСС.

За результатами дослідження впливу умов функціонування на рівень втрат отримано математичну багатофакторну модель показника Δq (4):

$$\Delta q = -16,0187\gamma/Q - 0,04637Wc + 11,7286 \gamma/L + 0,3867Wc/Q - 0,03424Q/\gamma + 1,3555; \quad (4)$$

Оцінку адекватності розрахункових значень показника Δq залежності (4) експериментальним даним (табл. 1) виконано за допомогою критерію Фішера та отримано: $F_p = 1,50$ і $F_{0,05} = 1,69$, де $F_p \leq F_{0,05}$, що вказує на її адекватність із ймовірністю 0,95.

Аналіз моделі (4) однозначно свідчить, що втрати зерна перебувають у зворотньо-пропорційній залежності від величини показника L . Така залежність є цілком логічною: велика довжина сепарувальної траєкторії руху соломи в системі КМСС зумовлює більший час «присутності» грубого вороху в молотарці та, як наслідок, — більшу кількість просепарованого зерна і менші втрати зерна. Інтенсивність процесів у молотарці — обмолот, сепарація та очищення зерна — значною мірою обумовлені станом технологічної маси, до характеристик якої в першу чергу необхідно віднести вологість соломи та соломистість. Вони, як правило, мають значний діапазон значень і зумовлюють певну в'язність і щільність технологічної маси в молотарці. Відповідно до них процеси сепарації зерна із соломи мають різний рівень інтенсивності і, природньо, рівень втрат.

Обговорення. Для оцінки сепарувальної здатності підбарабання молотильної

барабанної системи зернозбирального комбайна в основному проводяться експериментальні дослідження, які характеризуються значним обсягом вихідних даних і оціночних показників. Однак отримані результати не отримали подальшого розвитку в напрямку моделювання, оскільки на сьогодні мало висвітлені питання побудови багатофакторної математичної моделі, яка б включала множину факторів, які мають вплив на хлібну масу і процеси сепарації зерна під час обмолоту [Ловейкін та ін., 2016].

Моделювання та проектування молотарки комбінованого типу на базі тангенціальної барабанної МСС та осьового соломосепаратора грубого вороху застосовано при розробці рисозбиральних комбайнів [Tang et al., 2014]. Результати свідчать, що обмолот і сепарація в потужній молотильній системі є більш продуктивною та якісною, ніж у молотильних системах інших типів: коефіцієнт необмолоченого зерна становить 0,24%, коефіцієнт невідокремленого зерна — 0,34%, а коефіцієнт битого зерна — 0,18% [Tang et al., 2014]. Продуктивність систем обмолоту та сепарації зерна значно покращилася завдяки аналізу та оптимізації структури молотильних органів і факторів, що входять до складу моделі досліджуваних систем. Роздільне теоретичне моделювання та експериментування блоку молотильної системи з тангенціальним потоком хлібної маси і блоку сепарувальної системи з аксіальним потоком маси дало змогу отримати структурну та якісну оцінку всього молотильного блоку.

Висновки. Втрати зерна за молотаркою зернозбирального комбайна моделюються з достатнім рівнем достовірності. В основі математичного моделювання показника втрат зерна є застосування багатофакторного експерименту. Розроблена математична багатофакторна модель показника втрат зерна з ймовірністю 0,95 характеризує залежність втрат від ефективної довжини комплексної системи сепарації зерна, подачі технологічної маси на обмолот, соломистості хлібної маси та вологості соломи.

Перелік літератури

- Гусар, В. (2014). Статистичні моделі зміни технічного забезпечення АПК України. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України, (18 (1)), 49-55.
- Занько, Н. (1999). Влияние технических параметров молотилки зерно-уборочного комбайна с барабанным молотильно - сепарирующим устройством на ее функциональные показатели назначения. Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. збірник "Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин", Випуск 28. Кіровоград. - С. 174-180.
- Занько, Н. (2010). Функциональная схема молотилки зерноуборочного комбайна. Тракторы и с.-х. машины. № 1. - С. 35-39.
- Занько, Н. Д., Осипов, Н. М. (1997). Моделирование потерь зерна за молотилкой комбайна. Тракторы и с.х. машины. № 8. - С.27-28.
- Занько, Н., Осипов, Н. (1998). Влияние условий и режимов на качество работы зерноуборочного комбайна. Збірн. наук. праць: "Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для с.-г. України". Дослідницьке: УкрНДІПВТ,. - С.108-114.
- Ловейкін В. С., Човнюк Ю. В., Недовесов В. І., Ляшко А. П. (2016). Обґрунтування параметрів молотильно сепаруючого пристрою тангенціального типу зернозбирального комбайна. Монографія. Київ. С. 38.
- Русанов, А. И. (1998). Зерноуборочные комбайны и их пропускная способность. Тр-ры и с. х. машины. № 11. - С. 28-31.
- Miu, P. I., & Kutzbach, H. D. (2000). Simulation of threshing and separation processes in threshing units. *Agrartechnische Forschung*, 6, 1-7. DOI: 10.1016/j.compag.2007.07.003
- Navid, H., Behrouzilar, M., Mohtasebi, S., Sohrabi, M. (2006). Mathematical modeling of rear loss based on feed rate and thresher drum speed in John Deere 1165 Combine. *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*. Vol. 16(2). pp. 277-284
- Rusanov, A. I. (1998). Grain harvesters and their capacity. *Tractors and Agricultural Machines*. No. 11. - pp. 28-31.
- Tang, Z., Li, Y., Xu, L., & Kumi, F. (2014). Modeling and design of a combined transverse and axial flow threshing unit for rice harvesters. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12(4), 973-983.
- Trollope, J. R. (1982). A mathematical model of the threshing process in a conventional combine-thresher. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 27(2), 119-130. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(82\)90098-1](https://doi.org/10.1016/0021-8634(82)90098-1)

References

- Husar, V. (2014). Statistical models of changes in the technical support of the agricultural industry of Ukraine. Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture in Ukraine, (18 (1)), 49-55.
- Loveykin, V. S., Chovniuk, Yu. V., Nedovesov, V. I., Lyashko A. P. (2016). Justification of the parameters of the threshing-separating device of the tangential type of grain harvester. Monograph. Kyiv. P. 38.
- Miu, P. I., & Kutzbach, H. D. (2000). Simulation of threshing and separation processes in threshing units. *Agrartechnische Forschung*, 6, 1-7. DOI: 10.1016/j.compag.2007.07.003
- Navid, H., Behrouzilar, M., Mohtasebi, S., Sohrabi, M. (2006). Mathematical modeling of rear loss based on feed rate and thresher drum speed in John Deere 1165 Combine. *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*. Vol. 16(2). pp. 277-284
- Rusanov, A. I. (1998). Grain harvesters and their capacity. *Tractors and Agricultural Machines*. No. 11. - pp. 28-31.
- Tang, Z., Li, Y., Xu, L., & Kumi, F. (2014). Modeling and design of a combined transverse and axial flow threshing unit for rice harvesters. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12(4), 973-983.
- Trollope, J. R. (1982). A mathematical model of the threshing process in a conventional combine-thresher. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 27(2), 119-130. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(82\)90098-1](https://doi.org/10.1016/0021-8634(82)90098-1)

8634(82)90098-1

Zanko, N. (1999). The influence of the technical parameters of the thresher of a grain-harvesting combine with a drum threshing-separating device on its functional performance indicators. Design, production, and operation of rural machines. Issue 28. Kirovohrad. P. 174-180.

Zanko, N. (2010). Functional scheme of the thresher of the combine harvester. Tractors and Agricultural Machines. No. 1. - P. 35-39.

Zanko, N. D., Osypov, N. M. (1997). Modeling of grain loss by the combine threshing machine. Tractors and farm equipment cars No. 8. — P.27-28.

Zanko, N., Osypov, N. (1998). The influence of conditions and regimes on the quality of work of a grain harvester. Technical-technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for rural and urban areas. of Ukraine. Doslidnytske: UkrNDIPVT. P.108-114.

UDC 631.354.2.026.001.5

DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE GRAIN LOSS INDEX BY THE THRESHER OF THE GRAIN HARVESTING COMBINE

Khalin S., PhD in Economics,

<https://orcid.org/0000-0002-7510-5056>

Zanko M., candidate of technical sciences,

<https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>),

Haidai T., candidate of technical sciences,

<https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>,

Stepchenko S.,

<https://orcid.org/0000-0003-2808-9644>,

Len O.

<https://orcid.org/0000-0003-0454-119X>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

The purpose of the research: to develop a multifactorial mathematical model of the indicator of grain loss behind the thresher of a drum-type grain harvester, taking into account the connection and dependence between the elements of different groups of factors that characterize the thresher as a system.

Methods and materials. The application of the analysis method makes it possible to single out its structural and functional systems within the thresher, in particular - the complex threshing and separation system (CTSS) of the thresher and explore it taking into account technical parameters, technological modes and operating conditions independently of other systems. According to the synthesis method, the indicator of grain losses was experimentally investigated under the condition of complete unity and interconnection of the technical and technological systems of the thresher. The determination of grain loss by the combine thresher in different conditions of grain and straw moisture, with different modes of supplying the technological mass to threshing was implemented experimentally in real economic conditions. The development of a mathematical model of the grain loss indicator was carried out using mathematical modeling methods.

The results. To establish the connection and dependence of the grain loss indicator Δq on the factors to which the technical parameters, technological modes and working conditions are assigned, a graphic model of the thresher was used at the level of these indicators and factors influencing them. As a determining system, in accordance with the technological role in the formation of the level of losses Δq (%), the parameters of the complex threshing-separating system are adopted. The total loss of grain in different modes of supplying the bread mass to the threshing machine is taken as an evaluation indicator of the quality of the threshing machine. The moisture content of the straw and the weight ratio of grain and straw - strawness - are also accepted as factors of influence. A multifactorial experiment was conducted to determine the loss of grain by threshers of drum-type grain harvesters of different productivity. The analysis of the obtained experimental data shows:

1) the thresher, the technical parameters of which are aimed at ensuring greater throughput, reacts to a lesser extent to "difficult" working conditions, which are characterized by high straw moisture (up to 30%) and strawness (up to 1.60). This is manifested in its ability to work with grain losses of less than 1.5% and high feeding modes - a throughput of 12-14 kg/s;

2) straw moisture and its amount (strawness) determine the influence on the quality of the thresher's functioning: an increase (decrease) in straw moisture (or strawness) causes a corresponding increase (decrease) in grain losses;

3) when evaluating in extreme conditions (straw moisture is close to 30% and straw content - 1:1.6), threshers with a larger value of the total effective length of the CTSS system have lower grain losses.

Analysis of the Δq indicator model shows that grain losses are inversely proportional to the effective length of the CTSS system.

Analysis of the Δq indicator model shows that grain losses are inversely proportional to the effective length of the CTSS system. The intensity of the processes of threshing, separation and cleaning of grain in the thresher is largely determined by the condition of the technological mass - the moisture content of the straw and its quantity (strawness). According to them, the processes of separating grain from straw have different degrees of intensity and, accordingly, the level of losses.

Conclusions. Losses of grain behind the thresher of the grain harvester are simulated with a sufficient degree of reliability. The basis of mathematical modeling of the grain loss indicator is the application of a multifactorial experiment. The developed mathematical multifactor model of the grain loss indicator with a probability of 0.95 characterizes the dependence of losses on the effective length of the complex grain separation system, the supply of technological mass to the threshing floor, the strawness of the bread mass and the moisture content of the straw.

Keywords: grain harvester, drum-type thresher, complex threshing-separating system, grain losses behind the thresher, mathematical modeling.