

МАТЕМАТИЧНА ТА ГРАФІЧНІ МОДЕЛІ МОЛОТАРКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

Халін С., канд. екон. наук,

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

Занько М., канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,

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

Гайдай Т., канд. техн. наук,

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

УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

Мета досліджень. Установити зв'язок і залежність між елементами різних груп факторів системи “молотарка зернозбирального комбайна” – якості роботи, технічними параметрами, технологічними режимами й умовами роботи. На цій основі розробити графічну модель і оптимальний план багатофакторних досліджень показників призначення молотарки за її математичного моделювання.

Методи і матеріали. Системний принцип побудови, комбінований принцип функціонування, нові інтегративні якості технологічної маси на різних ділянках, залежність оціночних показників роботи від значної групи чинників (факторів) впливу характеризують молотарку зернозбирального комбайна як систему. Відповідно до цього для її досліджень доцільне застосування методів аналізу і синтезу. Застосування методу аналізу диференціює на складові частини молотарки – структурні, функціональні, оціночні тощо, та послідовно досліджує кожну з них, а також визначає взаємозв'язану поведінку кожної частини. Метод синтезу досліджує та оцінює молотарку за умови цілісної єдності і взаємозв'язку її технічних і технологічних систем.

Результати. Особливістю функціонування молотарки є багатомірність – наявність багатьох вхідних і вихідних перемінних. Однією з можливих і доступних для аналізу є інформаційна модель молотарки з множиною вхідних перемінних факторів і кількома оціночними – вихідними. Відповідно до методу аналізу молотарку диференційовано на складові – технологічні системи без їхнього фізичного відокремлення з її складу: молотильно-сепарувальну (МСС), систему остаточної сепарації зерна (СОС), систему очищення зерна (СОЗ). Оціночними показниками якості функціонування і вираження відповідності їхнім технічним параметрам і технологічним режимам є втрати зерна за молотаркою, її системами, а також дроблення зерна в МСС.

Дослідження функційних зв'язків між системами молотарки базується на аналізі складу та напрямку руху її технологічних потоків. Вміст зерна (втрат), що виходить із молотарки, класифікується відповідно як “втрати за системами СОС і СОЗ”. Їхня сумарна величина становить рівень втрат за молотаркою Δq . Встановлено, що високопродуктивні молотарки можуть працювати в значно більшому технологічному режимі подачі і пропускної здатності, коли втрати становитимуть 1,5 %. Величину показника Δq можна представити як залежність, до якої входять технологічні режими, технічні параметри молотарки та характеристики хлібної маси. Втрати зерна за системою сепарації зерна (Δq_c) представлено як залежність від втрат зерна за системою сепарації, технічних параметрів і технологічних режимів систем остаточної сепарації (СОС) та очищення зерна (СОЗ), а також вологості соломи, полови і зерна. Аналогічні обґрунтування та залежності виконані для систем МСС.

Слід зауважити, що такі дослідження роботи систем СОС та СОЗ щодо якості роботи – втрат зерна – пов'язані з методикою визначення основного показника призначення – пропускної здатності молотарки. Установлено зв'язок і залежність формування абсолютної величини показника

пропускної здатності систем – молотарки, МСС, СОС та СОЗ від величини пропускної здатності МСС, втрат за молотаркою та системами СОС і СОЗ, технологічних режимів роботи системи СОС і СОЗ та умови їхнього функціонування (вологість дрібного вороху, полови та зерна в системі). Виявлено залежність пошкодження (дроблення) зерна від технічних і технологічних параметрів МСС та стану зерна – вологості.

Установлено, що сепарувальна здатність молотарки та кількість дробленого зерна залежать від умов і режимів її роботи – вологості соломи та швидкості її руху через МСС. Першочерговий вплив на формування пропускної здатності молотарки зумовлений особливостями будови та режимами роботи МСС. Кількість пошкодженого зерна залежить від технологічного режиму МСС – величини зазорів у МСС та частоти обертання барабана.

Відповідно до зв'язку та залежності показників втрат зерна (Δq , Δq_c і Δq_o) дроблення зерна (D , %) і пропускної здатності (q , q_c та q_o) від факторів, які віднесені до “умови роботи”, “технічні параметри” та “технологічні режими”, розроблено графічну модель молотарки на рівні цих показників і факторів впливу на них.

Графічна модель, насамперед, установлює залежність оціночних показників від інших. Це, як правило, оціночні та функційні показники роботи – втрати та дроблення зерна і пропускна здатність. Побудова кожної такої узагальненої залежності базується на виділенні функційного блоку, який базується на оцінювальному (досліджуваному) показнику та факторах, безпосереднього впливу на нього.

Висновки. Молотарка зернозбирального комбайна – це складна система. Її елементами є технологічні системи нижчого рівня, які характеризуються технічними параметрами, технологічними режимами, умовами, якістю роботи та продуктивністю. Досліджено зв'язок і залежність між елементами різних груп факторів системи «молотарка зернозбирального комбайна» (оціночними – якості роботи, технічними параметрами, технологічними режимами і умовами роботи). На цій основі розроблено графічну модель молотарки.

Ключові слова. Зернозбиральний комбайн, молотарка, молотильно-сепарувальна система (МСС), система сепарації, технічні параметри, графічне моделювання.

Вступ. Дослідження будь-якого зернозбирального комбайна першочергово спрямовані на вивчення його макросистеми – молотарки та розробку математичних моделей показників її призначення: технічних параметрів, технологічних режимів та оціночних показників. За всіх видів її досліджень, з усіх можливих факторів впливу на оціночні показники роботи, розглядається та застосовується тільки один – подача технологічної маси на обмолот. Дослідження молотарки фактично базуються на експериментальному методі і проводяться як цілісної макросистеми. Водночас до складу молотарки входять системи обмолоту, основної і остаточної сепарації та очищення зерна як системи нижчого рівня. Такий методичний підхід до молотарки не дає змоги досліджувати кожну її систему окремо.

За конструкційним виконанням, комбінованістю технологічних процесів, взає-

мозв'язку та впливу технічних параметрів і технологічних режимів на оціночні та функційні показники призначення – пропускна здатність, втрати зерна за молотаркою, дроблення та засміченість зерна, особливостями взаємодії робочих органів із технологічною масою і впливом на якість вихідної продукції (зерно) молотарка характеризується як складна система. Провідна роль у формуванні оціночних показників якості роботи належить молотильно-сепарувальній системі (МСС) та системам остаточної сепарації (СОС) з грубого вороху та очищення зерна (СОЗ). Кожна із зазначених систем має характерні особливості конструкції та технологічних процесів. У синтезі з технічними параметрами робочих органів і систем та технологічними режимами вони обумовлюють для кожної молотарки конкретні оціночні показники – сумарні втрати, дроблення і засміченість зерна та пропускну здатність.

МСС виконує складний комплекс технологічних операцій. Сепарація зерна декою молотильного барабана, втрати зерна за системою сепарації зерна і пропускна здатність всієї молотарки зі збільшенням технічних параметрів МСС і соломотряса збільшується [Клєнин, 1994].

Для опису процесів обмолоту та сепарації зерна в аксіально-роторних і тангенціально-барабанних молотарках застосовано комплексну й унітарну стохастичну математичну модель [Петре, Міу; 2000]. Отримані рівняння описують і кількісно визначають відсоток необмолоченого, вільного та відокремленого зерна по довжині простору молотильної системи, як-то ротор або увігнута площина молотильної деки. Також кількісно визначено втрати під час обмолоту і сепарації зерна.

Отримані результати досліджень молотарки (навіть одного типу) – розрізнені і перебувають на рівні моделювання та аналітичного аналізу окремої молотарки.

Постановка завдань.

Мета роботи. Установити зв'язок і залежність між елементами різних груп факторів системи “молотарка зернозбирального комбайна” – якості роботи, технічними параметрами, технологічними режимами й умовами роботи.

На їхній основі розробити багатофакторну графічну модель молотарки зернозбирального комбайна з молотаркою барабанного типу.

З усіх можливих факторів впливу на оціночні показники роботи в практиці досліджень розглядається та застосовується тільки один – подача технологічної маси на обмолот. Системи, які входять до складу молотарки, конструкційно і технологічно пов'язані між собою. Це обумовлює інтегральний вплив на формування кількісної величини оціночних показників і продуктивність переробки технологічної маси, яка подається на обмолот, сепарацію та очищення в молотарку. Їхні характеристики є технічні параметри, технологічні режими, умови роботи, зокрема показники, що характеризують стан хлібної маси.

Графічне моделювання макросистеми «молотарка» базується на встановленні функціональних та інших зв'язків і залежності не тільки між системами різного функційного призначення, які входять до її складу, але й між елементами-факторами, що належать кожній такій підсистемі.

Для встановлення таких функційних зв'язків і побудови графічної схеми молотарки необхідно:

1. Розробити інформаційну модель молотарки.

2. Провести обґрунтування методів, які проводять дослідження молотарки з урахуванням особливостей технологічного принципу обмолоту, технічних параметрів конструкції, режиму й умов роботи – характеристик технологічної маси.

3. Визначити і проаналізувати властивості елементів молотарки, відношень між ними і властивостей молотарки як системи загалом.

4. Встановити прямий і зворотні функційні зв'язки між системами молотарки у процесі її роботи, зокрема під час формування показників якості роботи.

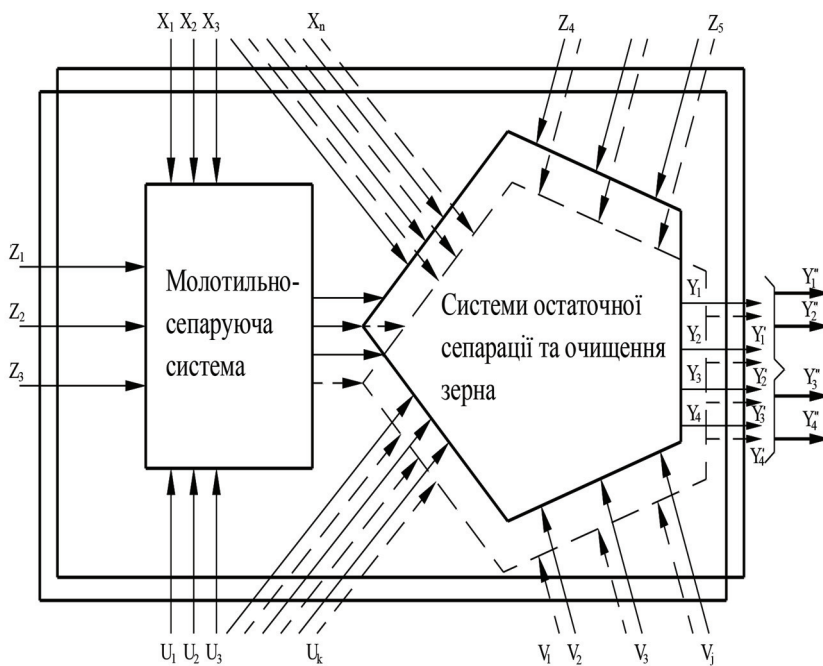
5. За результатами виконаних досліджень розробити графічну модель молотарки.

Матеріали і методи. Системний принцип побудови, комбінований принцип функціонування, нові інтегративні якості технологічної маси на різних ділянках, залежність оціночних показників роботи від великої групи чинників (факторів) впливу характеризують молотарку зернозбирального комбайна як систему. Відповідно, для її досліджень доцільне застосування методів аналізу і синтезу. Застосування методу аналізу диференціює молотарку на складові частини – структурні, функційні, оціночні тощо та послідовно досліджує кожну з них, а також визначає взаємозв'язану поведінку кожної структури (елемента). Метод синтезу досліджує та оцінює молотарку за умові цілісної єдності і взаємозв'язку її технологічних систем.

Результати досліджень. За результатами досліджень та аналізу конструкції барабанних МСС і процесу обмолоту роз-

роблено математичну багатofакторну модель процесу обмолоту в МСС, установлено рівень втрат зерна за молотаркою та показники пропускної здатності.

На основі експериментальних досліджень розроблено математична модель (рис. 1) показника питомих витрат палива зернозбиральних комбайнів із молотарками різних типів [Занько, 2008; Ловейкін та ін., 2016].



X_i ($i=1, n$) – технічні параметри технологічних систем;

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

U_i ($i=1, k$) – технологічні режими функціонування;

V_i ($i=1, j$) – суб'єктивні фактори впливу на функційні показники роботи;

$Y_1 - Y_4$ – функційні показники призначення системи сепарації;

$Y_1' - Y_4'$ – функційні показники призначення системи очищення зерна;

$Y_1'' - Y_2''$ – функційні показники призначення молотарки.

Рисунок 1 – Інформаційна модель молотарки зернозбирального комбайна

На основі математичних моделей побудовано графічні моделі, використані для визначення якості роботи класичної МСС – дроблення зерна залежно від його вологості і технологічних зазорів у молотильній системі та частоти обертання молотильного барабана [Осипов, Занько, 1997].

На її основі розроблено графічну модель, яка встановлює залежність питомих витрат палива від площі молотильно-сепарувальних дек МСС, потужності двигуна та продуктивності комбайна. Аналіз і узгодження технічних параметрів МСС і оціночного показника роботи (втрат зерна) оптимізує режим роботи комбайна за питомими витратами палива.

На основі графічної моделі розроблено методи визначення питомих витрат палива залежно від технічних параметрів і продуктивності комбайна.

Відповідно до методу аналізу молотарку диференційовано на складові – технологічні системи без їхнього фізичного відокремлення зі складу: молотильно-сепарувальну (МСС), систему остаточної сепарації зерна (СОС), систему очищення зерна (СОЗ). Оціночними показниками якості функціонування і вираження відповідності їхнім технічним параметрам і технологічним режимам прийняті втрати зерна за молотаркою та її системами – СОС, СОЗ та дроблення зерна в МСС під час обмолоту хлібної маси.

Дослідження функціональних зв'язків між системами молотарки базується на аналізі складу та напрямку руху її технологічних потоків. Вміст зерна (втрат) у технологічних потоках, які виходять із молотарки, у соломі системи остаточної сепарації і системи очищення зерна у поло-

ві класифікується відповідно як “втрати за системами СОС і СОЗ”. Установлено, що кожна молотарка визначених технічних параметрів у кожному конкретному технологічному режимі роботи має певний рівень втрат за СОС (Δq_c , %) і СОЗ (Δq_o , %). Сумарна їхня величина становить рівень втрат за молотаркою Δq :

$$\Delta q = \Delta q_c + \Delta q_o, \quad (1)$$

Установлено, що високопродуктивні молотарки зі значними технічними параметрами систем СОС та СОЗ можуть працювати у значно більшому технологічному режимі подачі і пропускної здатності, за якого втрати становитимуть 1,5 %. Однозначно можна стверджувати, що якість сепарації зерна в СОС (на соломотрясі) та виділення його з полови буде обумовлюватись станом технологічної маси – вологістю соломи і зерна. Відповідно до проведених обґрунтувань величину показника Δq можна представити так:

$$\Delta q = f(U_i; X_i; Z_i); \quad (2)$$

де Δq – сумарний рівень втрат зерна за молотаркою, %;

U_i – технологічні режими;

X_i – технічні параметри молотарки;

Z_i – умови роботи (характеристики хлібної маси).

Відносно якості роботи системи сепарації зерна (СОС) втрати зерна за нею (Δq_c) можна показати так:

$$\Delta q_c = f(U_{ic}; X_{ic}; Z_{ic}); \quad (3)$$

де Δq_c – втрати зерна за системою сепарації;

U_{ic} – технологічні режими роботи системи СОС (подача технологічної маси на обмолот);

X_{ic} – технічні параметри системи СОС;

Z_{ic} – умови функціонування системи СОС (вологість соломи і полови та зерна).

Аналогічні обґрунтування і залежності можна побудувати також і для систем МСС і СОЗ.

Слід зауважити, що таке дослідження та детальний аналіз роботи систем очищення зерна та соломотряса щодо якості роботи – втрат зерна – пов'язані з методикою визначення основного показника призначення – пропускної здатності молотарки. Логічно, що вона не може бути меншою за пропускну здатність складових технологічних систем молотарки – МСС, СОС (тут соломотряса) та системи очищення зерна, які формують сумарний рівень втрати (залежність 1). Можна од-

нозначно констатувати певний зв'язок і залежність формування абсолютної величини показника пропускної здатності кожної з відмічених систем – молотарки, МСС, СОС та СОЗ від величини показників Δq , Δq_c , Δq_o та інших показників призначення молотарки. У цьому випадку такими є технічні параметри та технологічні режими відповідних систем. Вираження такого зв'язку для показника пропускної здатності системи СОЗ можна представити так:

$$q_o = f(\Delta q_o; U_{io}; X_{io}; Z_{io}); \quad (4)$$

де q_o – пропускну здатність системи СОЗ;

Δq_o – втрати молотаркою зерна за системою очищення зерна;

U_{io} – технологічні режими роботи системи СОЗ;

X_{io} – технічні параметри системи СОЗ;

Z_{io} – умови функціонування системи СОЗ (вологість дрібного вороху, полови та зерна в системі).

Під час роботи молотарки разом із позитивним процесом – вимолотом зерна з колосу є і негативне явище: механічне пошкодження (дроблення) зерна. Зерно пошкоджується переважно в МСС, де воно зазнає багаторазових ударів з боку бил барабана та сепарувальної деки. Кількість пошкодженого зерна визначається також зазорами між декою і барабаном, інтенсивністю завантаження молотарки технологічною масою та частотою обертання барабана, яку встановлюють залежно від вологості зерна й соломи, солomisності технологічної культури, подачі маси на обмолот. Вміст такого зерна в складі отриманого (бункерного) обумовлює його подальшу, після МСС, наявність у вихідному з молотарки технологічному потоці «дрібна солома + половина». Внаслідок цього таке зерно є об'єктивним потенціалом для збільшення втрат Δq_o у складі втрат за системою СОЗ. Фактичні втрати зерна збільшуються зі збільшенням подачі хлібної маси в молотарку. Однозначно можна стверджувати про залежність пошкоджен-

ня зерна від технічних і технологічних параметрів МСС і стану зерна – вологості.

Установлено, що сепарувальна здатність молотарки та кількість дробленого зерна залежать від умов і режимів її роботи – вологості соломи та швидкості її руху через МСС. Насамперед, особливості будови та режим роботи МСС обумовлюють вплив на формування пропускної здатності молотарки. Кількість пошкодженого зерна залежить від технологічного режиму МСС – величини зазорів у МСС та частоти обертання барабана.

Відповідно до зв'язку та залежності показників втрат зерна (Δq , Δq_c і Δq_o), дроблення зерна (D , %) та пропускної здатності (q , q_c та q_o) від факторів, віднесених до умов роботи, технічних параметрів і технологічних режимів розроблено графічну модель молотарки на рівні цих показників та факторів впливу на них (рис. 2).

Графічна модель молотарки (рис. 2) насамперед установлює залежність функціональних показників від оціночних та інших. Це, як правило, пропускна здатність та оціночні показники роботи – втрати і дроблення зерна та засміченість зерна (чистота). Для побудови такої узагальненої залежності необхідно на схемі виділити функційний блок, який базується на досліджуваному показнику та факторах, які мають на нього безпосередній 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 із груп факторів $U_{i(COC)}$, $U_{i(MCC)}$, $Z_{i(CO3)}$, які зв'язані з цією групою показників входним символом “ \rightarrow ”:

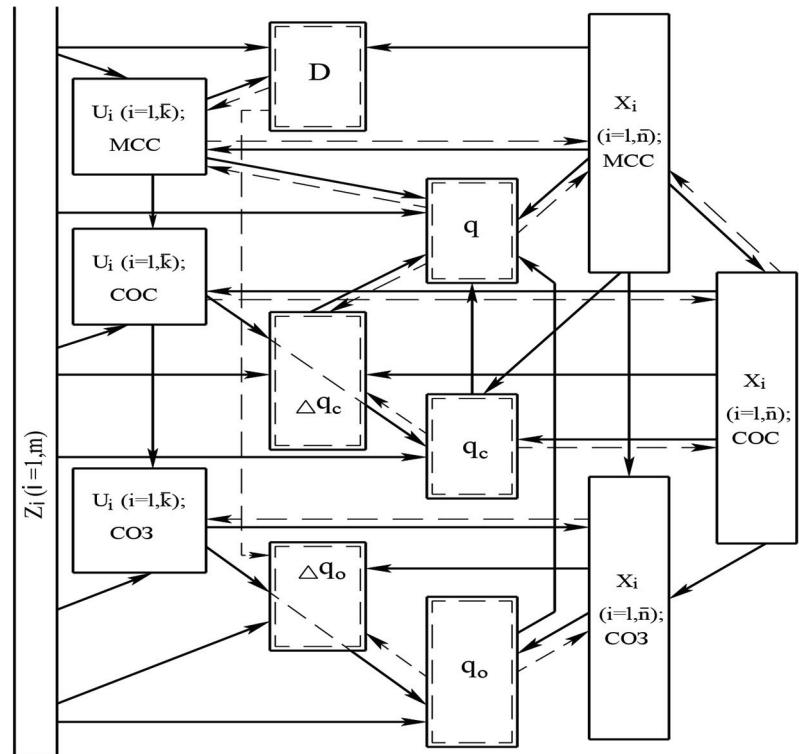


Рисунок 2 – Графічна модель молотарки барабанного типу на рівні показників призначення: X_i ($i = 1, n$) – технічні параметри; U_i ($i = 1, k$) – технологічні режими; Z_i ($i=1, m$) – умови роботи, q_c – пропускна здатність системи сепарації (соломотряса), q_o – пропускна здатність системи очищення зерна; \dashrightarrow – функційні відношення прямого впливу; \rightarrow – функційні відношення зворотної підпорядкованості

$$U_{i(CO3)} = f(U_{i(COC)}; U_{i(MCC)}; Z_{i(CO3)}), \quad (5)$$

Обговорення. Ефективність моделі підтверджено ґрунтовною базою даних, отриманих під час експериментальних випробувань роторних і тангенціальних молотарок. Узгодженість прогнозованих і експериментальних даних свідчить, що всі рівняння є високо достовірними.

Сучасні комбайни характеризуються високою продуктивністю обмолоту. З нею узгоджуються технічні характеристики комбайна, мінімальна величина втрат зерна і витрати палива [Навід Х. та ін., 2000]. Втрати поділяються на природні втрати до збирання урожаю, втрати під час обмолоту та очищення зерна і втрати якості зерна. Опис процесів молотарки математичними моделями є першим кроком в ідентифікації та мінімізації втрат комбайна. Визначено два важливі факто-

ри, які впливають на продуктивність комбайна: пропускна здатність (інтенсивність подачі), яка є функцією швидкості комбайна та врожайності, і продуктивність молотарки, яка є функцією від частоти обертання режиму роботи молотильного барабана та його технічних розмірів. Проведено факторний експеримент із використанням рандомізованого повного блоку з трьома повторностями. Експерименти враховували два фактори (кожен на трьох рівнях): швидкість потоку зерна та продуктивність молотарки. Під час тесту вимірювалися загальні втрати за молотаркою. Результати засвідчили, що вплив обох факторів на втрати за молотаркою був значим, на рівні ймовірності 1 %. Модель було визначено множинною нелінійною регресією за швидкістю потоку зерна та продуктивністю обмолоту. Регресійний дисперсійний аналіз показав, що отримана модель є значимою, на рівні ймовірності 5 %.

Проведено експериментальні дослідження з визначення сепарувальної здатності підбарабання МСС, незбалансованості молотильного барабана зернозбирального комбайна та режиму його руху. Отримані результати потребують подальшого розвитку в напрямку моделювання, оскільки на сьогодні недостатньо висвітлені питання побудови багатфакторної математичної моделі руху порції хлібної маси в молотильному зазорі, де враховувалися б такі фактори: сили, які діють на хлібну масу під час обмолоту, показники неврівноваженості молотильного барабана зернозбирального комбайна на його роботу, динаміку руху молотильного барабана. Дослідженнями динаміки руху приводного механізму молотильного барабана зернозбирального комбайна та визначенням навантаження в його елементах займався Ловейкін В. С. [Ловейкін та ін., 2016].

Вивчення молотарки, спрямоване на отримання робочої графічної залежності, було об'єктом досліджень Жалніна Е. В. Він характеризував залежність рівня втрат зерна за нею у різних технологічних ре-

жимах роботи. [Жалнін та ін., 1986].

Результати моделювання молотарки комбінованого типу на базі тангенціальної барабанної МСС та осьового соломосепаратора грубого вороху, зокрема п'ятьох типів молотильних штифтів (ножовий блок, трапецієподібний, шиповий, штифтовий, рашпіль, брусок і прямокутник) рисозбиральних комбайнів, отримані на основі теорії ймовірностей [Кейп-Кост, Гана; 2000]. Результати засвідчили, що обмолот і сепарація потужного ножового блока була сильнішою і якіснішою, ніж інші типи молотильних штифтів. Результати випробувань показали, що коефіцієнт необмолоченого зерна становив 0,243 %, коефіцієнт невідокремленого зерна – 0,346 %, а коефіцієнт битого зерна – 0,184 %. Як свідчать ці результати, продуктивність обмолоту та сепарації зерна значно покращилася завдяки аналізу й оптимізації структури молотильних органів і факторів, які входять до складу моделі досліджуваних систем.

Моделювання та проектування молотарки комбінованого типу на базі тангенціальної барабанної МСС та осьового соломосепаратора грубого вороху застосовано під час розроблення рисозбиральних комбайнів [Кейп-Кост, Гана; 2000]. Роздільне теоретичне моделювання та експериментування блоку молотильної системи з тангенціальним потоком хлібної маси і блоку сепарувальної системи з аксіальним потоком маси зумовило структурні зміни всього молотильного блока.

Висновки. Молотарка зернозбирального комбайна є складною системою. Її компонентами є технологічні системи нижчого рівня, які характеризуються технічними параметрами, технологічними режимами, умовами, якістю роботи та продуктивністю. Досліджено зв'язок і залежність між елементами різних груп факторів системи молотарка зернозбирального комбайна (оціночними - якістю роботи, технічними параметрами, технологічними режимами і умовами роботи). На цій основі розроблено графічну модель молотарки. Такий методичний підхід

до молотарки встановлює зв'язок між її складовими елементами - технологічними системами, дає змогу досліджувати кожну її систему як окрему (автономну), умовно незалежну, проводити конкретний аналіз конструкції або технологічної схеми, об'єктивно оцінювати конструкції параметри, якості роботи та інші показники призначення.

Література

Гусар. В. (2014). Статистичні моделі зміни технічного забезпечення АПК України. ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого». Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України». Збірник наукових праць Випуск 18 (32). Книга 1. Сільськогосподарська техніка та інформаційно-керуючі засоби: випробування, прогнозування, конструювання. Дослідницьке, С. 49-54.

Електронний ресурс https://www-sciencedirect-com.translate.google.com/science/article/abs/pii/0021863482900981?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc Дж. Р. Троллоп Математическая модель процесса обмолота в традиционном комбайне-молотилке. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(82\)90098-1](https://doi.org/10.1016/0021-8634(82)90098-1)

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.

Занько М. (2008). Исследование удельных затрат топлива зерноуборочного комбайна // Наукове фахове видання "Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка". Випуск 75: "Механізація с.-г. виробництва". Т.2. МінАПУ: Харків. 2008. С. 175-182.

Клёнин Н. И. Состояние и перспективы развития зерноуборочной техники // Тр-ры и с. х. машины. - 1994. - № 2.- С.11-13.

Ловейкін В., Човнюк Ю., Недовесов В., Ляшко А. Обґрунтування параметрів молотильно - сепаруючого пристрою тан-

генціального типу зернозбирального комбайна. Монографія. Київ. 2016. - Стор. 38.

Моделювання та проектування комбінованого тангенціального та осевого молотильних агрегатів для рисозбиральних комбайнів. Ключова лабораторія сучасної сільськогосподарської техніки та технології. Університет Цзянсу, Університет Кейп-Кост. Школа сільського господарства. відділу с.-г Інженерія. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj1925.00021962001700080010x> Кейп-Кост, Гана; 2000.

Осипов Н., Занько Н. Оптимизация режимов работы МСУ зерноуборочного комбайна // ISSN 0235-8573. М.: "Машиностроение". Тракторы и с.-х. машины. 1997. № 4. С. 24 -25.

Mueen-u-Din, Mushtaq Ali, Liaqat Ali, Masood Qadir Waqar, Muhammad Anjum Ali, Laila Khalid (2015). Grain Losses of Wheat as Affected by Different Harvesting and Threshing Techniques International Journal of Research in Agriculture and Forestry Volume 2, Issue 6, PP 20-26

Navid H., Behrouzilar M., Mohtasebi S.S., Sohrabi Mahmoud (2000). Mathematical Modeling Of Rear Loss Based On Feed Rate And Thresher Drum Speed In John Deere 1165 Combine. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=83624>.

Petre I. Miu (2000). Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units. University of Tennessee. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(82\)90098-1](https://doi.org/10.1016/0021-8634(82)90098-1)

Rogovskii I. L, Martiniuk D. I, Voinash S. A., Luchinovich A. A, Sokolova V. A, Ivanov A. M. and Churakov A. V. (2021). Modeling the throughput capacity of threshing-separating apparatus of grain harvester's combines AGRITECH-IV-2020 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. doi:10.1088/1755-1315/677/4/042098

References

Electronic resource https://www-sciencedirect-com.translate.google.com/science/article/abs/pii/0021863482900981?_x_tr_

sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc Dzh. R. Trollope Mathematical model of the threshing process in a traditional combine-thresher. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(82\)90098-1](https://doi.org/10.1016/0021-8634(82)90098-1)

Hussar V. (2014). Statistical models of changes in the technical support of the agricultural industry of Ukraine. L. Pogorilyy UkrNDIPVT. Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for the agriculture of Ukraine». Collection of scientific works Issue 18 (32). Book 1. Agricultural machinery and information and management tools: testing, forecasting, design. Research, pp. 49-54.

Klyonin N. Y. Status and prospects of the development of grain harvesting technology // Tr-ry and p. h. cars - 1994. - N^o 2. - P.11-13.

Loveykin V., Chovnyuk Yu., Nedovesov V., Lyashko A. Justification of the parameters of the threshing-separating device of the tangential type of grain harvester. Monograph. Kyiv. 2016. - Page 38.

Modeling and design of combined tangential and axial threshing units for rice harvesters. Key laboratory of modern agricultural machinery and technology. Jiangsu University, University of Cape Coast. School of agriculture. Department of Rural Engineering. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj1925.00021962001700080> 010x Cape Coast, Ghana; 2000

Mueen-u-Din, Mushtaq Ali, Liaqat Ali, Masood Qadir Waqar, Muhammad Anjum Ali, Laila Khalid (2015). Grain Losses of Wheat as Affected by Different Harvesting and Threshing Techniques International Journal of Research in Agriculture and Forestry Volume 2, Issue 6, PP 20-26

Navid H., Behrouzilar M., Mohtasebi S.S., Sohrabi Mahmoud (2000). Mathematical Modeling Of Rear Loss Based On Feed Rate And Thresher Drum Speed In John Deere 1165 Combine. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=83624>.

Osypov N., Zanko N. Optimizing the modes of operation of the MSU grain harvester // ISSN 0235-8573. M.: «Mashinos-

troenie». Tractors and farm equipment cars 1997. No. 4. P. 24-25.

Petre I. Miu (2000). Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units. University of Tennessee. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(82\)90098-1](https://doi.org/10.1016/0021-8634(82)90098-1)

Rogovskii I. L, Martiniuk D. I., Voinash S. A., Luchinovich A. A, Sokolova V. A, Ivanov A. M. and Churakov A. V. (2021). Modeling the throughput capacity of threshing-separating apparatus of grain harvester's combines AGRITECH-IV-2020 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. doi:10.1088/1755-1315/677/4/042098

Zanko M. (2008). Research on specific fuel costs of a grain harvester // Scientific publication «Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko». Issue 75: «Mechanization of rural and urban production». T.2. Ministry of APU: Kharkiv. 2008. P. 175-182.

Zhalnyn E. V., Baranov A. A., Suleymanov M. Srednestatisty-Czech throughput capacity of grain harvesters // ISSN 0235-8573. Tr-ry and s.h. cars 1997. N^o 8. P.25-27.

UDC 631.354.2.026.001.5

MATHEMATICAL AND GRAPHIC MODELS OF THE THRESHER OF THE GRAIN HARVESTER

Khalin S., PhD in Economics,

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

Zanko M., PhD. Tech. Scs.,

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

Haidai T., PhD. Tech. Scs.,

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

L. Pohorilyy UkrNDIPVT

Summary

The purpose of research. To establish the connection and dependence between the elements of different groups of factors - evaluation of the quality of work, technical parameters, technological modes and working conditions - of the "thresher of a grain harvester" system. Based on them, develop a graphic model and an optimal plan for multifactor studies of thresher performance indicators during its mathematical modeling.

Methods and materials. The system principle of construction, the combined principle of operation, the new integrative qualities of the technological mass in different areas, the dependence of the estimated performance indicators on a large group of factors (factors) of influence allow us to characterize the thresher of the grain harvester as a system. In accordance with this, it is appropriate to use methods of analysis and synthesis for its research. The application of the analysis method allows you to subject the thresher to differentiation into component parts - structural, functional, evaluative, and others - and to sequentially study each of them, as well as to determine the interconnected behavior of each part. The synthesis method allows you to study and evaluate the thresher under the condition of complete unity and interconnection of its technical and technological systems.

The results. A feature of thresher operation is its multidimensionality - the presence of many input and output variables. One of the possible and available for analysis is the information model of the thresher with a set of input variable factors and several estimated - output ones. In accordance with the method of analysis, the thresher is differentiated into components - technological systems without physically separating them from its composition: threshing-separating system (TSS), final grain separation system (GSS), grain cleaning system (GCS). Losses of grain by the thresher and its systems and crushing of grain in the TSS are accepted as the evaluation indicators of the quality of functioning and the expression of compliance with their technical parameters and technological regimes.

The study of functional relationships between thresher systems is based on the analysis of the composition and direction of movement of its technological flows. The content of grain (losses) coming out of the thresher is classified accordingly as "losses according to the GSS and GSS systems". Their total value is the level of losses at the thresher Δq . It has been established that highly productive threshers can work in a much larger technological mode of supply and throughput, at which losses of 1.5% will be observed. The value of the indicator Δq can be represented in the form of a dependence that includes technological modes, technical parameters of the thresher, and characteristics of the bread mass. Grain losses by the grain separation system (Δq_c) are presented as a function of grain losses by the separation system, technical parameters and technological modes of the final separation (GSS) and grain cleaning (GSS) systems and the moisture content of straw and chaff and grain. Similar justifications and dependencies are also performed for the TSS and POP systems.

It should be noted that such studies of the operation of GSS and GSS systems in terms of the quality of work - grain losses - are related to the method of determining the main indicator of the purpose

- *thresher throughput. The connection and dependence of the formation of the absolute value of the throughput indicator of the systems - threshers, TSS, GSS and GCS on the value of the throughput capacity of the TSS, losses from the thresher and GSS and GSS systems, the technological modes of operation of the GSS and GSS system and their operating conditions (humidity small heap, chaff and grain in the system. The dependence of grain damage (crushing) on the technical and technological parameters of TSS and the state of grain - moisture was determined.*

It was established that the thresher's separation capacity and the amount of crushed grain depend on the conditions and modes of its operation - the moisture content of the straw and the speed of its movement through the TSS. The primary influence on the formation of throughput capacity of the thresher is determined by the peculiarities of the structure and mode of operation of the TSS. The amount of damaged grain depends on the technological mode of the TSS - the size of the gaps in the MSS and the frequency of rotation of the drum.

In accordance with the connection and dependence of grain loss indicators (Δq , Δq_c and Δq_o), grain crushing (D , %) and throughput (q , q_c and q_o) on factors that are attributed to "working conditions", "technical parameters" and "technological modes" a graphic model of the thresher was developed at the level of these indicators and factors affecting them.

The graphic model allows you to primarily establish the dependence of evaluation indicators on others. These are, as a rule, evaluative and functional indicators of work - loss and crushing of grain and throughput. The construction of each such generalized dependence is based on the allocation of a functional block, which is based on the evaluated (studied) indicator and factors that have a so-called direct - direct influence on it.

Conclusions. *The combine harvester thresher is a complex system. Its constituent elements are technological systems of a lower level, which are characterized by technical parameters, technological modes, conditions, quality of work and productivity. A study of the connection and dependence between the elements of different groups of factors of the "thresher of a grain harvester" system was carried out (evaluative - quality of work, technical parameters, technological modes and working conditions). Based on them, a graphic model of the thresher was developed.*

Keywords. *Combine harvester, thresher, threshing-separating system (TSS), separation system, technical parameters, graphic modeling.*