

УДК 631.171.001.5:633.1

РАНЖУВАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ЇХ ПРОДУКТИВНОСТІ

В. Кравчук, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НААН України

М. Занько, канд. техн. наук

УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Обґрунтовано науково-методичні основи аналітичного визначення пропускної здатності та продуктивності зернозбиральних комбайнів барабанного типу.

Ключові слова: *зернозбиральний комбайн, ранжування, молотарка, визначальні технічні показники, пропускна здатність, продуктивність.*

Суть проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. На ринок зернозбиральних комбайнів України на сьогодні постачаються до трьохсот моделей різних фірм. Природно, що всі вони характеризуються різною пропускною здатністю та мають відповідну продуктивність. Результати досліджень свідчать, що встановити достовірно зазначені показники можливо у разі застосування відповідних методів, які базуються на аналізі і оцінюванні визначальних технічних характеристик, параметри яких обумовлюють функціональний вплив на інтенсивність технологічних процесів та в підсумку – на продуктивність комбайна. Кожний комбайн має свій рівень продуктивності, у відповідності з її величиною його можна розташувати на певному місці серед інших комбайнів, тобто – надати ранг.

Ранжування відповідно до продуктивності комбайна можна провести за результатами експлуатаційно-експериментальної оцінки. Практична реалізація такої роботи потребує значних фінансових та трудових затрат в польових умовах. Крім того, такі дослідження будуть приурочені до сезону збирання хлібів. Реально таку задачу можна оперативно вирішити, коли в досліджувану групу входять 2-3 комбайни. А як виконати порівняння значної групи комбайнів, які в той же час знаходяться в різних господарствах або навіть країнах? Відповідь може бути одна: виконати ранжування комбайна з допомогою відповідних методів. Але яка для цього необхідна методика і наскільки вона буде практична, реальна та достовірна?

Аналіз результатів досліджень. Значне різноманіття комбайнів з барабанною системою обмолоту однозначно свідчить, що збільшення продуктивності комбайна (читай – пропускної здатності) однозначно супроводжується збільшенням потужності двигуна (табл. 1-6). Наприклад, збільшення енергозабезпечення комбайна LEXION-670, в порівнянні з

комбайном «Єнісей КЗС-950» в 2,1 рази дозволило збільшити його пропускну здатність в 2,2 рази. Доцільно зазначити, що зростання пропускну здатності комбайна, яке характерне для сучасних комбайнів з високою продуктивністю, поряд зі збільшенням його енергозабезпечення, супроводжується одночасним ускладненням систем обмолоту, збільшенням технічних параметрів всіх систем комбайна та функціональних можливостей макросистеми «молотарка» [1]. Але є низка інших важливих технічних характеристик, які кількісно узгоджені з функціональними можливостями комбайна. Це дає підставу включити їх в загальну оцінку комбайна при визначенні основного показника – пропускну здатності.

Продуктивність комбайна визначає основна система комбайна – молотарка. Як її функціональний показник прийнято показник «пропускну здатність». В комбайнах барабанного типу основну кількість втрат за молотаркою, до 80 відсотків в складі 1,50%, формує комплексна система сепарації зерна з грубого вороху, яка прийнята як визначальна на величину показника пропускну здатності [1]. До її складу входять дві системи: обмолоту і основної сепарації зерна (МСС) та сепарації грубого вороху, яка представлена клавішним соломотрясом. До інших допоміжних систем, які дозволяють комбайну працювати в необхідному режимі робочої швидкості і проектної продуктивності, відноситься жнивварка. Її технологічна спроможність, в агрегаті із певним комбайном, формувати потік технологічної маси встановленої потужності та інтенсивності в молотарку, дозволяє працювати в певному режимі продуктивності [2].

Мета даної роботи – дослідити визначальні технічні параметри молотарки та обґрунтувати їх вплив на величину пропускну здатності і за їх результатами виконати ранжування комбайнів барабанного типу.

Виклад основного матеріалу досліджень. Загальну методологію ранжування комбайнів з барабанною системою обмолоту доцільно представити через такі етапи:

- формування групи комбайнів з барабанною системою обмолоту; до неї можуть входити серійні комбайни, що реалізуються на світовому ринку та ті, що знаходяться на етапі розроблення, але в яких вже визначені основні технічні параметри;
- встановлення оцінного показника; як оцінний показник прийнята його пропускну здатність;
- побудова ранжувальної таблиці (табл. 2-5);

Таблиця 1 – Ранжування барабанних комбайнів з шириною молотарки 1001-1199 мм (фрагмент)

Марка комбайна	Компанія - виробник	Ширина молотарки, мм	Діаметр молотильного барабана, мм	Площа обмолоту та основної сепарації зерна, м ²	Довжина солоотряса, м	Інтенсивність роботи ножа, цикл/хв	Потужність двигуна, к.с.	Пропускна здатність, кг/с
SR-2035 «Sampo Rosenlev»	Sampo Rosenlev	1110	500	0,51	3,83	1020	100	3,5
SR-2045 «Sampo Rosenlev»	Sampo Rosenlev	1110	500	0,51	4,32	1020	125	4
SR-2065 «Sampo Rosenlev»	Sampo Rosenlev	1110	500	0,51	4,32	1020	150	4
SR-2085 TS «Sampo Rosenlev»	Sampo Rosenlev	1110	500	0,85 (0,34 + 0,51)	4,32	1020	175	4,5

- визначення номенклатури показників призначення комбайна, які обумовлюють вплив на формування оцінного показника;
- експертне оцінювання та аналіз номенклатури технічних показників комбайна; вибір основних, що обумовлюють вплив на формування величини оцінного показника;
- визначення величини оцінного показника комбайна;
- порівняльне оцінювання оцінного показника і розташування його в порядку зростання, тобто – ранжування.

Методи встановлення величини показника «пропускна здатність»:

- **системного підходу;** встановлення пропускної здатності в залежності від ряду визначальних технічних параметрів систем, що входять до складу системи «молотарки» та макросистеми «комбайн»;
- **аналізу;** дослідження пропускної здатності молотарки у взаємозв'язку та на рівні технічних параметрів її складових: молотильної системи та соломотряса;
- **синтезу;** дослідження технологічних можливостей молотарки – в складі комбайна, в стані цілісної єдності і взаємозв'язку.

Технологічні системи, що розглядаються при ранжуванні барабаних комбайнів:

- зернова жниварка для прямого комбайнування як система, що визначає режим живлення комбайна для досягнення ним проектної продуктивності;
- система обмолоту з барабанами різного конструкційного виконання та призначення (молотильні, сепарувальні, ротаційні, гальмувачі, прискорювальні);
- система сепарації грубого вороху – соломотряса, що сепарує залишки зерна із обмолоченої соломи та формує певний рівень втрат за молотаркою;
- енергозабезпечення (двигун комбайна).

Технічні показники, що прийняті за визначальні при ранжуванні зерно-збиральних комбайнів. Як визначальні показники зазначених вище систем приймаються показники, які обумовлюють кількісне формування втрат зерна за молотаркою та пропускної здатності. Причому, досліджувана сукупність показників, що визначають величину оцінного показника, може містити малозначимі, на перший погляд, показники. Але вони, разом з тим, можуть обумовлювати вагомий вплив на формування рівня оцінюваного. Тому, до них віднесено: інтенсивність різання ножа різального апарату, ширину молотарки, діаметр молотильного барабана, площу молотильно-сепарувальних дек, довжину соломотряса і потужність двигуна.

Ширина молотарки – одна з основних технічних характеристик, параметр якої визначає параметри всіх інших її технологічних систем: довжину робочої частини молотильного барабана і МСС, ширину системи сепарації грубого вороху і тим самим – число клавіш соломотряса та їх площу [2]. Ці системи визначають інтенсивність обмолоту та виділення зерна із обмолоченої маси і його чистоту. А це – прямий шлях для досягнення проектного значення пропускної здатності (q , кг/с) та забезпечення певного

рівня продуктивності комбайна за 1 годину основного часу (W , т/год): $W = q * 3600 * 10^{-3}$.

Природно, більша ширина молотарки сприяє більшій кількості технологічної маси, що може: а) надійти в молотарку, б) бути підданою до обмолоту та переробленою з встановленою якістю. Мінімальна ширина сучасних молотарок комбайнів знаходиться на рівні 1000 мм, максимальна – 1700 мм. Тому, **всі молотарки барабанних комбайнів**, в діапазоні її конструкційної ширини, **розділені на 6 груп**: I – 1000-1200 мм, II – 1201-1390 мм, III – 1401-1500 мм, IV – 1501-1599 мм, V – 1601-1700 мм. Відповідно, **до комбайнів малої продуктивності попередньо можна віднести комбайни з шириною молотарки на рівні нижнього порогу діапазону – 1000 мм, до комбайнів високої продуктивності – з шириною молотарки на рівні 1700 мм.**

Діаметр молотильного барабана – технічний параметр основного робочого органа молотарки. В сучасних комбайнах він становить 450-800 мм. Практика свідчить, що барабан більшого діаметра має більшу молотильну та сепарувальну здатність, оскільки обумовлює синхронне збільшення довжини ввігнутої робочої поверхні деки та траєкторії руху. Вірогідність просипання (основної сепарації) зерна через решітчасту поверхню деки – зростає (до 90 %). Найбільш застосовуваним у багатьох комбайнів, що забезпечують пропускну здатність 5-14 кг/с (продуктивність при цьому – 9-25 т/год), є молотильний барабан з діаметром 600 мм.

У складі барабанної молотарки, крім основного – молотильного барабана, можуть бути й інші додаткові барабани, які мають відповідну конструкцію та функціональне призначення. Вони можуть бути розміщені «до», або «після» молотильного барабана. У відповідності з їх конструкцією вони виконують попередній (перед основним) обмолот та додаткову (після МСС) сепарацію зерна з технологічної маси. Їх застосування обумовлює використання разом з ними сепарувальних дек і тим самим – збільшення кількості просепарованого зерна в зоні такої багатобарабанної МСС. Така система обмолоту забезпечує продуктивність комбайна до 24-26 т/год.

Молотильно-сепарувальні деки – обов'язковий елемент конструкції барабанної МСС. Кожний барабан, як правило, має молотильну або сепарувальну деку. Її функціональне призначення – безпосередня участь в обмолоті і основна (до 90%) або додаткова (після МСС) сепарація зерна із технологічної маси в зоні розташування МСС. У відповідності з конструкційним виконанням і технологічним призначенням деки виконують дві функції – обмолоту та основної сепарації, яка здійснюється на передню, стартову зону стрясної дошки. Обмолот та рух отриманої при цьому маси «зерно + сильно подрібнена (внаслідок ударів бил барабана) солома і полова» здійснюються по всій довжині ввігнутої траєкторії внутрішньої поверхні деки, яка «обіймає» барабан на 120-130°. Тобто, кількість хлібної маси, яка може зазнавати ефективного обмолоту в МСС і продуктивність розділення-

сепарації обмолоченого зерна і соломи, в значній мірі визначаються довжиною ввігнутої траєкторії та шириною деки, що ідентична ширині молотарки. За наявності зазначених факторів площа дек є саме тим вирішальним чинником, який визначає здатність молотарки виконувати обмолот маси з певною продуктивністю. Кількість та площа дек обумовлюється числом барабанів, що входять до складу МСС. Природно, що комбайн зі значною площею дек МСС має більшу продуктивність, в порівнянні з комбайном з невеликою площею дек. Слід зазначити, що найменше значення цього параметра знаходиться на рівні $0,51 \text{ м}^2$, максимальне – на рівні $2,57 \text{ м}^2$. Що характерно для їх залежності? Між ними зберігається умовна пропорція між технічними параметрами і пропускну здатністю: площі $0,51 \text{ м}^2$ відповідає пропускну здатність 4 кг/с , а площі $2,57 \text{ м}^2$ – 20 кг/с . Між відповідними значеннями обох показників коефіцієнт дорівнює п'яти (!), тобто – залежність дотримується. Однозначно можна зробити висновок, що площа дек МСС конкретного значення «прив'язана» та ідентифікує як саму систему обмолоту так і комбайн конкретної моделі і що важливо – по величині показника його пропускну здатності. Це дозволяє прийняти цей показник як основний чинник при ранжуванні комбайна згідно з прийнятою методологією.

Соломотряс призначений для остаточної сепарації залишків зерна з обмолоченої соломи. Однак, цю функцію він виконує не в повній мірі, внаслідок чого за ним спостерігаються втрати зерна, які досягають 80 відсотків (у складі 1,50% втрат за молотаркою під час її роботи в режимі пропускну здатності). Якими факторами обумовлюється якість його роботи, тобто – втрати? Першочергово – довжиною клавіші. Основний її фактор – довжина, визначає довжину та геометрію траєкторії, по якій рухається обмолочена солома в просторі молотарки і ефективність остаточного виділення (сепарації) із неї залишків зерна, які не зазнали сепарації через деки МСС. Коротка клавіша, на рівні 3,83 м (SR-2035 «Sampo Rosenlev») в режимі високих подач відносно «погано» сепарує залишки зерна, втрати за молотаркою будуть більші ніж допустимі. Особливо великі втрати будуть за соломотрясом, коли комбайн працює з продуктивністю, яка перевищує його проектну. Тому, такий соломотряс використовується в комбайнах із незначною подачею, пропускну здатність яких становить $3,5 \text{ кг/с}$. Збільшення довжини соломотряса до 4,6 м (комбайн CS-6090 фірми New Holland) прямо свідчить, що комбайн «націлений» на добру сепарацію зерна із соломи в режимі високих подач і може забезпечити пропускну здатність на рівні $10-11 \text{ кг/с}$. Тобто, довжина соломотряса визначає якість роботи – кількість втрат зерна і тим самим – величину пропускну здатності і разом з нею – продуктивність комбайна.

Жниварка – визначальна система для реалізації потенціальної здатності комбайна за показником продуктивності. Одним із шляхів за забезпечення подачі маси 20 кг/с (і більше) на обмолот та реалізація потенційно

високої продуктивності комбайна є здатність жниварки забезпечити формування такого технологічного потоку. Для цього вона повинна зрізати масу з високою швидкістю та за рахунок значної ширини захвату формувати потужний потік маси в молотарку. За цих умов створюються передумови для великого завантаження комбайна. Слід зазначити, що майже всі сучасні комбайни в своєму комплектувальному «арсеналі» мають декілька однотипних зернових жниварок, які відрізняються шириною захвату. Наприклад: барабанний комбайн компанії CLAAS – Tuscano-450 для забезпечення подачі на рівні 16 кг/с, в залежності від проектних умов роботи – урожайності зернової культури, комплектується жниварками з шириною захвату 12 м, 10,5 м, 9 м, 7,5 м, 6,6 м, 6 м та 5,4 м [3]. До технічних характеристик, які визначають технічний рівень жниварки, комбайна та продуктивність необхідно віднести **інтенсивність різання ножа (цикл/хв) різального апарата**. Саме вона обумовлює здатність зрізання стебел технологічної культури з певною (високою) інтенсивністю. Тим самим для комбайна забезпечується основна передумова рухатися з високою робочою швидкістю. А це – основа забезпечення проектного рівня подачі технологічної маси в молотарку та високопродуктивної її роботи. Для жниварок усіх шести груп визначено інтенсивність різання, яка відповідає сучасному рівню (табл. 2-5). Наприклад, для комбайнів з шириною молотарки 1400-1499 мм цей параметр знаходиться на рівні 1100-1220 цикл/хв і є характерним фактично для всіх комбайнів даної групи. Разом з тим він є вагомим аргументом непрямого твердження, що ця група комбайнів має високий технічний рівень, створена в останнє десятиліття і в основній своїй кількості відповідає сучасному технічному рівню. Дослідження свідчать, що комбайни I-II покоління мають циклічність ножа різального апарата на рівні 750 цикл/хв, а IV покоління – до 1220 цикл/хв. Така технічна характеристика є одним з переконливих аргументів для оцінки технічного рівня комбайна і потенційної можливості досягнення ним високої продуктивності.

Таблиця 2 – Ранжування барабанних комбайнів з шириною молотарки 1201-1399 мм (фрагмент)

Марка комбайна	Компанія-виробник	Ширина молотарки, мм	Діаметр молотильного барабана, мм	Площа обмолоту та основної сепарації зерна, м ²	Довжина соломотряса, м	Інтенсивність роботи ножа, цикл/хв	Потужність двигуна, к.с.	Пропускна здатність, кг/с
Tucano-320	Claas	1320	450x2	0,98	4,4	1120	204	6-7
Tucano-330	Claas	1320	450x2	0,98	4,4	1120	258	8
Tucano-430	Claas	1320	450x2	1,46	4,4	1120	258	8
SR-3045	Sampo Rosenlev	1330	500	0,92	4,3	1020	175	6-6,5
SR-3065	Sampo Rosenlev	1330	500	0,92	4,3	1020	200	6-6,5
SR-3065L	Sampo Rosenlev	1330	500	0,92	4,7	1020	200	6-6,5
SR-3085 «SUPERIOR»	Sampo Rosenlev	1330	500	1,02	4,7	1020	250	7-7,5
MF -7240 ACTIVA	Massey Ferguson	1340	600	0,83	5,1	1080	176	6-6,5
MF -7245 ACTIVA	Massey Ferguson	1340	600	0,83	5,1	1080	255	6,5
CH 644 Challenger	AGCO	1340	600	0,83	5,0	1220	180	6-6,5

Рівень енергозабезпечення комбайна. Встановлений рівень продуктивності комбайна та оптимальні енергозатрати при цьому можливі при відповідному енергозабезпеченні – потужності двигуна. У більшості комбайнів енергозабезпечення перевищує енерговитрати під час роботи комбайна в режимі проектної продуктивності на величину до 15% потужності двигуна. Не узгодженість енергозабезпечення та енерговитрат обумовлює:

- **при меншому енергозабезпеченні:** комбайн в умовах експлуатації не забезпечить реалізацію потенціальних можливостей молотарки; він буде мати продуктивність, яка значно менше проектної і питомі показники (експлуатаційні, економічні, матеріаломісткість) будуть незадовільними – перевищуватимуть допустимі;

- **при збільшеному енергозабезпеченні:** продуктивність комбайна буде знаходитись на проектному рівні, який обумовлюють параметри молотарки. Проте, витрати палива за 1 годину експлуатаційного часу, а разом з ними – питомі витрати палива будуть значно перевищувати регламентовані, що обумовить економічну неефективність технологічного процесу і комбайна в цілому.

Для комбайнів барабанного типу енергозабезпечення представлено у відповідності з маркою комбайна та шириною молотарки відповідної групи. Аналіз комбайнів різних моделей, але однакових технічних параметрів (навіть одної фірми-виробника) свідчить, що потужність застосованих двигунів знаходиться в значному діапазоні. Тому, одним з критеріїв відповідності енергозабезпечення даного комбайна сучасному технічному рівню прийнято узгодженість його величини з технічними параметрами МСС – площею молотильно-сепарувальних дек та порівняльна оцінка його величини в даній групі (по ширині молотарки).

Слід зазначити, що для комбайнів з шириною молотарки 1600-1700 мм і пропускною здатністю на рівні 14 кг/с і більше, енергозабезпечення становить 225-413 к.с. З урахуванням того, що розподіл потужностей двигунів комбайнів цієї групи підпорядковується нормальному закону, оптимальному рівню відповідає енергозабезпечення в діапазоні 295-385 к.с.

Ранжування барабаних зернозбиральних комбайнів з пропускною здатністю. З урахуванням розглянутих показників технічної характеристики проектного ранжуванню піддані наявні на ринку України 136 барабаних зернозбиральних комбайнів провідних компаній світу: John Deere, Claas, New Holland, DEUTZ FAHR, Massey Ferguson, Laverda S.p.a., «Sampo Rosenlev», корпорації AGCO та вітчизняних підприємств-виробників. При цьому використані технічні дані, які представлені в проспектичних матеріалах на відповідні комбайни.

Результати ранжування зернозбиральних комбайнів з барабанною системою обмолоту за показником пропускної здатності фрагментарно приведені в таблицях 2-6.

Аналіз свідчить, що всі моделі комбайнів «Sampo Rosenlev» серії 2000 (табл. 1) мають однакові параметри – ширину молотарки, діаметр молотильного барабана та площу деки обмолоту. За цими показниками молотарка зможе забезпечити пропускну здатність на рівні 3,5 кг/с. Збільшення довжини соломотряса до 4,32 м (моделі SR-2045 та SR-2065) [4] дозволяє зменшити рівень втрат за молотаркою і за рахунок цього збільшити пропускну здатність до 4 кг/с. Використання в системі обмолоту двох барабанів і збільшення площі обмолоту до $0,85 \text{ м}^2$ за рахунок додаткової деки дозволяє збільшити кількість зерна, що сепарується в МСС, дещо «розвантажити» соломотряс і зменшити втрати за молотаркою. За рахунок цього пропускну здатність збільшується до 4,5 кг/с (комбайн SR-2085 TS). А як ув'язати з цими всіма параметрами потужність двигуна, яка в кожному з комбайнів «своя»? Практика ефективної реалізації наявного енергозабезпечення барабанних комбайнів свідчить, що, як правило, для реалізації пропускну здатності в 1 кг/с необхідна потужність 30 к.с. Потужність двигуна «стартової» моделі серії – SR-2035 становить 100 к.с., що відповідає 3,3 кг/с і фактично відповідає нашому прогнозу (3,5 кг/с). Інша модель – SR-2045 має потужність двигуна в 125 к.с. Розрахункова пропускну здатність – 4 кг/с, що ідентично прогнозній (табл. 1). Проектна пропускну здатність комбайна SR-2085 TS дорівнює 4,5 кг/с, що не співпадає з розрахунковою – $175:30 = 5,8$ (кг/с). Пояснення логічно просте: використання в МСС двох барабанів і збільшення площі дек спрямоване на використання комбайна на «тяжких» фонах, де необхідний «запас» потужності, де й потрібна витрата цих «надлишкових» 40 к.с. Інтенсивність роботи ножа – 1020 цикл/хв. цілком достатня для забезпечення подачі хлібної маси в комбайн на рівні 4,5 кг/с.

Площа двох дек системи обмолоту Tusano-320 (340) [3] становить $0,98 \text{ м}^2$ і трохи перевищує площу $0,90 \text{ м}^2$ комбайна СК-5 «Нива», пропускну здатність якого становить 5 кг/с. Збільшення ширини молотарки до 1320 мм та довжини клавіші до 4,4 м дозволяє збільшити пропускну здатність до 6-7 кг/с (табл. 2). Це підтверджує потужність застосовуваного двигуна: $204:30=6,8$ (кг/с). Збільшення потужності до 258 к.с. більш спрямоване на роботу в «тяжких умовах»: поля з пересічним рельєфом, ґрунти з підвищеною вологістю тощо.

Комбайни серії SR-3000 «Sampo Rosenlev» (SR-3045; SR-3065; SR-3085) [5] мають технічні параметри молотарки на рівні 6-6,5 кг/с. Це підтверджує потужність «вихідної» моделі комбайна SR-3045 «Sampo Rosenlev» серії 3000: $175:30 \sim 6$ (кг/с) та збільшена до 1330 мм ширина молотарки і раціональна довжина клавіші – 4,3 метра. Збільшення площі деки до $1,02 \text{ м}^2$ і довжини клавіші до 4,7 м зменшують рівень втрат. За рахунок цього пропускну здатність буде становити 7-7,5 кг/с.

Таблиця 3 – Ранжування барабаних комбайнів з шириною молотарки 1401-1499 мм (фрагмент)

Марка комбайна	Компанія - виробник	Ширина молотарки, мм	Діаметр молотильного барабана, мм	Площа обмолоту та основної сепарації зерна, м ²	Довжина соломотряса, м	Інтенсивність роботи ножа, цикл/хв	Потужність двигуна, к.с.	Пропускна здатність, кг/с
John Deere-9540i	John Deere	1400	600	1,47	4,6*	1150	235	10
John Deere-9560i	John Deere	1400	600	1,47	4,6*	1150	265	10
John Deere-9580i	John Deere	1400	600	1,47	4,6*	1150	318	10
T-550 John Deere	John Deere	1400	660	2,8	3,25	1150	290	10
W-540 John Deere	John Deere	1400	660	1,5	4,4**	1150	238	8,5
John Deere-9500	John Deere	1400	660	1,26	4,6	1150	292	8,5
Lexion-510	Claas	1420	600	1,98	4,4**	1120	220	8 - 9
Lexion-620	Claas	1420	600	1,98	4,4+	1120	279	8 - 9
CS-6060	New Holland	1500	607	2,09	3,63	1150	281	8 -8,5
КЗС-9-І «Славутич»	ТОВ «ХМЗ»	1500	700	1,14	4,35	917	235	8 - 8,5

* + сепаратор пальцьовий; **+ барабан-гальмувач; ***+ барабан-бітер

Таблиця 4 – Ранжування барабанних комбайнів з шириною молотарки 1501-1599 мм (фрагмент)

Марка комбайна	Компанія - виробник	Ширина молотарки, мм	Діаметр молотильного барабана, мм	Площа обмолоту та основної сепарації зерна, м ²	Довжина соломотряса, м	Інтенсивність роботи ножа, цикл/хв	Потужність двигуна, к.с.	Пропускна здатність, кг/с
5680 H Deutz Fahr	DEUTZ FAHR	1521	600	1,13	5,0	1220	286	8-8,5
5690 HTS Deutz Fahr	DEUTZ FAHR	1521	600	2,1	4,4	1220	313	8,5-9
CS 640 New Holland	New Holland	1560	607	2,1	4,16	1150	258	8,5-9
CS-660 New Holland	New Holland	1560	607	2,1	4,16	1150	281	8-9
CX-820 New Holland	New Holland	1560	750	2,4	3,80	1150	281	9
CX-840 New Holland	New Holland	1580	750	2,4	3,75	1150	299	9
CX-8080 New Holland	New Holland	1560	750	2,4	3,45	1150	354	9-10
CX-8090 New Holland	New Holland	1560	750	2,4	3,60	1150	405	9-10
Tucano-340	Claas	1580	450x2	1,75	4,4*	1120	260	9-10
Tucano-440	Claas	1580	450x2	1,75	4,4*	1120	279	9-10
Tucano-450	Claas	1580	450x2	1,75	4,4*	1120	299	11

* + розрихлювач соломи

Таблиця 5 – Ранжування барабанних комбайнів з шириною молотарки 1601-1700 мм (фрагмент)

Марка комбайна	Компанія - виробник	Ширина молотарки, мм	Діаметр молотильного барабана, мм	Площа обмолоту та основної сепарації зерна, м ²	Довжина соломотряса, м	Інтенсивність роботи ножа, цикл/хв	Потужність двигуна, к.с.	Пропускна здатність, кг/с
John Deere-9600	John Deere	1638	660	1,25	4,6	1155	312	9
John Deere-9640i WTS	John Deere	1670	660	1,87	4,6	1155	295	10
John Deere-9660i WTS	John Deere	1670	660	1,87	4,6	1155	320	10
John Deere-9680i WTS	John Deere	1670	660	1,87	4,6	1155	355	10
W-650 John Deere	John Deere	1670	660	1,87	4,6	1155	325	12
W-660 John Deere	John Deere	1670	660	1,87	4,6	1155	350	12
T-660 John Deere	John Deere	1670	660	3,36	3,2	1155	325	12-14
T-670 John Deere	John Deere	1670	660	3,36	3,2	1155	378	12-14

Комбайни компанії Massey Ferguson MF-7240 (7245) ACTIVA мають площу деки класичної системи обмолоту рівну $0,83 \text{ м}^2$, що спрямовано на отримання пропускної здатності на рівні $4,5 \text{ кг/с}$. І тільки «втручання» в процеси сепарації зерна збільшеної ширини молотарки – 1330 мм і довгої (!) клавіші соломотряса – $5,1 \text{ метра}$ (у комбайна СК-5 «Нива» – $3,85 \text{ м}$) дозволяє вийти на рубіж $6-6,5 \text{ кг/с}$.

Аналогічна, в порівнянні із комбайнами MF-7240 (7245) ACTIVA, ситуація спостерігається і у комбайна CH 644 Challenger (корпорація AGCO) [6].

Комбайн John Deere-9540i (табл. 3) має розрахункову пропускну здатність 8 кг/с ($235 \text{ к.с} : 30 = 8 \text{ кг/с}$). Однак, проектна величина цього показника становить 10 кг/с . За рахунок чого досягнуто збільшення? Застосування в складі МСС двох барабанів і за рахунок цього збільшення площі дек до $1,47 \text{ м}^2$ та довгих клавіш – довжиною $4,6 \text{ м}$. Збільшення потужності двигуна у моделей John Deere- 9560i та John Deere- 9580i спрямоване на «універсальне» використання цих моделей на збиранні кукурудзи з жниварками різної ширини захвату, де цей «запас» буде реалізовано сповна.

Базова модель комбайнів серії «Lexion-500» – комбайн Lexion-520 (табл. 3). Його розрахункова пропускну здатність становить $8,5 \text{ кг/с}$ ($260 \text{ к.с} : 30 = 8,5 \text{ кг/с}$) і співпадає з проектною. Збільшення потужності двигуна в решти комбайнів цієї серії, без зміни параметрів молотарки, спрямоване на використання їх в більш «тяжких» умовах: на ґрунтах зі збільшеною вологістю, пересічному рельєфі з підйомами, на збиранні кукурудзи.

Збільшена ширина молотарки – $1500-1600 \text{ мм}$ (табл. 4) є тією базою, яка за необхідного технологічного компонування дозволяє «наповнити» її систему обмолоту кількома барабанами і тим самим збільшити площу молотильно-сепарувальних дек до $1,75-2,4 \text{ м}^2$ і довжину соломотряса до $4,4 \text{ метра}$, та за рахунок збільшення цих параметрів підвищити пропускну здатність.

Базові параметри – ширина молотарки 1560 мм та діаметр барабана 607 мм (комбайн CS-640 New Holland, табл. 4) визначають і «гарантують» тільки $7-7,5 \text{ кг/с}$. Внаслідок застосування у складі МСС барабана-соломосепаратора площа сепарувальних дек збільшилась до $2,1 \text{ м}^2$. Тому навіть при відносно короткому соломотрясі – $4,16 \text{ м}$ проектна пропускну здатність досягне $8,5-9 \text{ кг/с}$. Збільшення потужності двигунів у інших комбайнів цієї ж серії – CS-600 «New Holland», при незмінних базових параметрах молотарки, – спрямоване на використання їх в агрегаті із енергоємними кукурудзозбиральними адаптерами та для роботи в «тяжких» умовах (див. вище).

Збільшення діаметра барабана до 750 мм обумовлює «синхронне» збільшення площі дек комбайнів серії CX-800 (820; 840; 8080; 8090) New Holland (табл. 4) до $2,4 \text{ м}^2$. Збільшення довжини траєкторії руху маси в МСС, площі сепарації та час дії барабана на хлібну масу збільшують кількість

зерна, просепарованого в МСС. В комплексній взаємодії з соломотрясом середньої довжини – довжина клавіші 3,6-3,8 м та при енергозабезпеченні в 281 к.с. це обумовлює клас комбайна у 9-10 кг/с. Збільшення потужності застосовуваних двигунів з 280 к.с. до 405 к.с. першочергово спрямоване на покриття енергетичних витрат комбайна під час роботи в складніших технологічних режимах та експлуатаційних умовах.

Фактично аналогічні технічні параметри комбайнів серії «Tucano-300 (400)» дозволяють прогнозувати їх пропускну здатність на тому ж рівні, що й комбайнів серії «CX-800» New Holland (табл. 4).

Збільшення функціональних можливостей молотарки екстенсивним шляхом – за рахунок збільшення її технічних параметрів наочно демонструють комбайни компанії John Deere серії W-9600 WTS [7] та T-600 (табл. 5). Визначальний параметр, який першочергово обумовлює прийняття потужного потоку маси на обмолот – ширина молотарки, становить 1670 мм і фактично досягає граничного значення (1700 мм). Використання молотильного барабана збільшеного діаметра – 660 мм та використання сепарувальної деки у відбійного бітера, чого не спостерігається в МСС класичного типу, дозволило збільшити площу системи основної сепарації зерна до 1,87 м². І третій параметр, що обумовлює заключний позитивний вплив на зменшення втрат за молотаркою та здатність працювати з підвищеною продуктивністю – достатньо довгий соломотряс довжиною 4,6 м. Для порівняння: у комбайнів малої продуктивності цей параметр дорівнює лише 3,83 м (табл. 1). Ці конструкційні параметри визначають формування величини пропускну здатності для молотарок даної групи. І навіть незначне збільшення потужності двигуна – до 350 к.с. не є вирішальним фактором для формування цього визначального оцінного показника.

Тенденція екстенсивного збільшення продуктивності шляхом використання кількох барабанів спостерігається в комбайнів John Deere серії T-600 (T-660 і T-670). В їх системі обмолоту використано 6 (!) різнофункціональних барабанів. Відповідно кількість сепарувальних дек збільшилась з числом наявних барабанів, а їх площа досягла 3,36 (!) м². Використання складної і разом з тим – «габаритної» системи обмолоту обумовило зменшення простору молотарки, де розміщується соломотряс. Тому, об'єктивно слід зазначити, що соломотряс довжиною 3, 2 м – явно короткий і фактично не впорасться із завданням вилучення із обмолоченої соломи зерна під час роботи в режимі високих подач. Тобто, функцію вилучення зерна із обмолоченої маси на 90-95 % покладено на систему обмолоту. У відповідності із зробленим аналізом їх пропускну здатність можна прогнозувати на рівні 12-14 кг кг/с. Зроблений прогнозний висновок непрямо підтверджує енергозабезпечення, яке відповідно становить 325 і 378 к.с.

Ключове питання методології: як визначити пропускну здатність згідно з фактичною продуктивністю комбайна та навпаки – продуктивність згідно з пропускну здатністю? Пропускну здатність можна визначити: а) **аналітично** відповідно технічних параметрів (за методикою,

приведеною в цій статті), б) **розрахунково** – за результатами напрацювання комбайна під час експлуатації. Але насамперед для цього необхідно розтлумачити агрономічний термін «соломистість», який є невід’ємним елементом для роботи комбайна. Він визначає співвідношення урожаю зерна до урожаю соломи на 1 га або на пробній ділянці встановленої площі і знаходиться в межах 1 : (0,8 - 1,5). Наприклад: маємо урожайність зерна 50 ц/га, а урожай соломи з цієї ж площі – 60 ц/га. Тоді соломистість буде становити: $50 : 60 = 1 : 1,2$. Комбайн за 1 годину основного (безперервного) часу роботи намолотив (W_z , т/год) 20 тонн зерна. На цій ділянці, згідно з соломистістю 1: 1,2 комбайн «технологічно «пропустив через себе», обмолотив (W_c , т/год), $20 \times 1,2 = 24$ тонни соломи. Всього ж комбайн в «собі» технологічно переробив $20 + 24 = 44$ тонни маси. Тоді, пропускна здатність (q , кг/с) буде рівна: $q = (W_z + W_c) / 3,6 = 44 : 3,6 = 12,2$ (кг/с). За іншої соломистості, наприклад – 1:0,8 (але при цьому ж намолоті зерна), обмолочено буде всього: $20 + 20 \times 0,8 = 36$ тонн маси. Пропускна здатність буде становити: $36 : 3,6 = 10$ (кг/с).

А як «перейти» від визначеної пропускної здатності комбайна згідно з його технічними параметрами – до продуктивності? Комбайн КЗС-9-І «Славутич» (табл. 3) згідно з технічними параметрами повинен забезпечити пропускну здатність 9 кг/с. Ці 9 кг маси, що проходять за 1 секунду через молотарку в своєму складі містять і зерно і солому. Скільки їх? Знову ж таки, використаємо показник «соломистість». Наприклад, з досвіду використання в «своєму» господарстві певного сорту зернової колосової культури (пшениці) відомо, що її соломистість становить 1:1. Тоді, із цих 9 кг на зерно припадає: $9 : (1+1) = 4,5$ кг. За 1 годину безперервного (основного) часу буде намолочено $4,5 \times 3,6 = 16,2$ тонн зерна. Але намолот за 1 годину основного часу – це в значній мірі ідеалізований показник, оскільки в цей час не включені витрати на вивантаження зерна, повороти, технологічні зупинки на вивантаження зерна і таке інше. Внаслідок цього, щоб отримати експлуатаційну продуктивність необхідно продуктивність за 1 годину основного часу помножити на коефіцієнт з діапазону 0,67-0,73 (для сучасних комбайнів він буде рівним більш верхній межі): $16,2 \times 0,70 = 11,3$ тонни. А за 10 годин змінної роботи буде намолочено $11,3 \times 10 = 113$ тонн.

Висновки

1. Пропускна здатність барабанних комбайнів визначають технічні параметри молотарки: її ширина, діаметр молотильного барабана, площа молотильно-сепарувальних дек та довжина соломотряса. Тому її проєктне, в той же час – об’єктивне оцінювання величини можна виконувати згідно з технічною характеристикою, що наводиться навіть в проєктних матеріалах на відповідний комбайн.

2. Реалізація проєктного значення пропускної здатності залежить і від технічних параметрів інших систем комбайна: інтенсивності роботи ножа

різального апарата жниварки та потужності двигуна, які є обов'язковими чинниками, що забезпечують «розкриття» та реалізацію потенціальних можливостей молотарки.

3. Розроблена методика ранжування дозволяє у відповідності з соломистістю технологічної культури, урожайністю зерна і технічними параметрами визначити проектну продуктивність барабанного комбайна по намолоту зерна за 1 годину основного часу та намолот протягом робочої зміни. Тобто: аналітичну, разом з тим – об'єктивно-порівняльне оцінювання барабанного комбайна можна проводити оперативно і фактично без економічних та трудових затрат.

Література

1. Пустыгин М. А. Пути повышения и расчет пропускной способности зерноуборочных комбайнов // Тр-ры и с.-х. машины. – 1978. – № 11. – С.17.
2. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. – М.: ВИСХОМ, 2001, – 105 с.
3. Требования растут /Линейка продукции 2011 года КЛААС КГаА гмбХ, п/я 1163, Харзенвинкель, Германия. www.claas.com
4. Die neue 3000 Baureihe//Sampo Rosenlew: Werk und Hauptverwaltung? Sampo Rosenlew Oy, Finnland. www.iok.net/sampo
5. Протокол державних приймальних випробувань дослідного зразка № 01-17-2012 Комбайн зернозбиральний самохідний «Сампо-Україна – 300» Дослідницьке, УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2012. – 51с.
6. Клавiшні зернозбиральні комбайни CHALLENGER//Амако-Інформ. Інформаційно-технічне видання № 2. 2012.
7. Машины для збирання зернових та технічних культур: Посібник, за ред. В.І. Кравчука. – Дослідницьке – УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – 2009. – 296 с.

Аннотація

Обоснованы научно-методические основы аналитического определения пропускной способности и производительности зерноуборочных комбайнов барабанного типа.

Summary

Scientific and methodological basis of the analytical determination of drum type combine harvesters throughput and productivity are grounded.