

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР СУЧАСНИХ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ. АНАЛІТИЧНІ АСПЕКТИ

Бурлака О.А., доцент, Яхін С.В., доцент, Дудник В.В., доцент,
Іванкова О.В., доцент, Дрожжана О.У., ст. викладач
(Полтавська державна аграрна академія)

Проведено аналітичні дослідження по багато-критеріальному обґрунтуванню вибору сучасних зернозбиральних комбайнів. Враховано особливості конструкції молотильно-сепарувальних пристроїв комбайнів та особливості збирання різноманітних сільськогосподарських культур. Проведено порівняння технологічних аспектів використання зернозбиральних комбайнів з класичними, роторними та комбінованими молотарками. В статті використано аналітичний метод багатокритеріального вибору сучасних зернозбиральних комбайнів «за відстанню до цілі».

Основними порівнювальними критеріями було обрано: номінальну потужність двигуна, кВт; площу сепарації молотарки, м²; площу решіт очистки, м²; місткість бункера, м³; масу комбайна, кг; орієнтовну ціну, євро; витрату палива g, кг/т зерна, коефіцієнт надійності, Кн.

Порівнювані зернозбиральні комбайни умовно поділені відносно виробників та особливостей конструкції молотильно-сепарувального пристрою на групи машин виробництва України, Білорусії та Росії з класичною молотаркою – зернозбиральні комбайни «Скіф» та КЗС-9-1 «Славутич», «Палессе» GS 12, ACROS – 580; зернозбиральні комбайни з класичною молотаркою провідних закордонних фірм – CLAAS LEXION 540, JOHN DEERE T-670, NEW HOLLAND CX 8080, MASSEV FERGUSON MF 7280; зернозбиральні комбайни з роторною схемою обмолоту провідних закордонних фірм – JOHN DEERE S 690, NEW HOLLAND CR 9080, MASSEV FERGUSON MF 9895, CHALLENGER 680B, Ростсільмаш TORUM 740; зернозбиральні комбайни з провідних закордонних фірм з комбінованою системою обмолоту – CLAAS LEXION 570/570 TERRA TRAC, CLAAS LEXION 600/600 TERRA TRAC, CLAAS LEXION 770, JOHN DEERE C 670.

На основі перерахованих критеріїв та аналітичних розрахунків отримано рейтинг зернозбиральних комбайнів з урахуванням конструкцій молотильно-сепарувальних систем.

Ключові слова: зернозбиральний комбайн, багатокритеріальний вибір, технологія, сільськогосподарські культури, метод, обґрунтування, критерій, молотильно-сепарувальна система.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. В наш час пропозиція технологічних

систем на ринку зернозбиральної техніки досить різноманітна і представлена зернозбиральними машинами та комплексами виробництва провідних закордонних компаній та вітчизняними моделями.

Основним виробником зернозбиральних комбайнів в нашій країні представлений Херсонський машинобудівний завод. На потужностях даного підприємства випускаються зернозбиральні комбайни «Скіф» та КЗС-9-1 «Славутич» [1].

В останній період в Україні зростає тенденція по закупівлі аграріями значної кількості різноманітних імпортних комбайнів, як нових, так і бувших у використанні. Основні бренди та виробники таких машин наступні: Case, New Holland, John Deere, CLAAS, Challenger, Laverda. Закордонні фірми пропонують виробникам зернових культур широкий спектр моделей і варіантів номенклатури зернозбиральної техніки, але при цьому виникають значні проблеми з організацією і проведенням технічного сервісу таких машин. Іноді виникають труднощі і з кваліфікованою перепідготовкою механізаторів.

Як наслідок, у сучасному сільськогосподарському підприємстві проблема раціонального вибору зернозбирального комбайна це складне багатокритеріальне господарське інженерне рішення. Спочатку треба врахувати виробничі потреби підприємства по обсягу збиральних робіт зернових, зернобобових та технічних культур, що підлягають обмолоту, при цьому важливим елементом також є агротехнічні вимоги та агротехнічні особливості посівних площ конкретного сільськогосподарського підприємства. Наступним етапом необхідно визначити основні домінуючі параметри комплексу збиральних машин та урахувати вагомість визначених показників.

Додаткові дослідження слід надати при розгляді альтернатив по проектній пропускній здатності молотарки зернозбирального комбайна (кг/с) та номінальній продуктивності молотарки по зерну (т/год). Останні характеристики дадуть змогу оцінити технологічність та ступінь пристосованості машин до конкретних виробничих умов.

Кінцевий етап по обґрунтуванню придбання тієї чи іншої моделі зернозбирального комбайна пропонується розглядати як результат багатокритеріального вибору з використанням методу «за відстанню до цілі».

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язання даної проблеми і на які посилаються автори. Проблемам раціонального вибору зернозбирального комбайна для конкретних умов збирання врожаю а також дослідженням по удосконаленню молотильно-сепарувальних пристроїв зернозбирального комбайна, способам обґрунтування технологічних операцій виробництва зернових, зернобобових та технічних культур присвячено ряд наукових робіт відомих вчених: Погорілого Л. В., Нагірного Ю. П., Шейченка В. О., Адамчука В. В., Недовесова В. І., Анеляка М. М., Кузьмича А. Я. та ін. [3, 4, 5, 6, 9].

За даними випробувань УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого наробіток на відмову зернозбирального вітчизняного комбайна КЗС-9-1 «Славутич»

становить близько 10 годин, наробіток на відмову зернозбирального комбайна Дон-1500Б російського виробництва становить приблизно 18-20 годин. Для порівняння – комбайни фірми CLAAS серії «Домінатор» наробіток на відмову складає 150 годин [1]. За результатами статистичних спостережень через перевищення термінів проведення збиральних робіт на Україні сільськогосподарськими виробниками щороку втрачається близько шести мільйонів тон зерна.

Провідними науковцями УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого доведено, що навантаження на комбайн пропускнуою спроможністю десять-дванадцять кілограм за секунду хлібної маси, можна збільшити до двохсот сорока гектарів на збиральний сезон, за умови підвищення рівня технічного обслуговування збиральних машин та технічної культури механізаторів [1]. Виходячи з вищесказаного, для України бажано мати орієнтовно п'ятдесят чотири тисячі технічно справних комбайнів такого класу по пропускнуї спроможності, а реальна цифра, нажаль, набагато менша.

Тому проблема як дефіциту збиральної техніки, так і оптимального вибору сучасного зернозбирального комбайна залишається актуальною для зернотехнічного підкомплексу України.

Невирішені раніше частини проблеми, яким присвячується стаття. Більшість керівників та фахівців сільськогосподарських підприємств мають великі труднощі при виборі зернозбирального комбайна. Основні недоліки при обґрунтуванні такого рішення можливо визначити як надання суттєвої переваги тому чи іншому критерію комбайна без багатофакторного порівняння інших характеристик; обмежені фінансові можливості аграріїв, часткова невідповідність річного рекомендованого завантаження комбайна та планового обсягу збиральних робіт в сільськогосподарському підприємстві; недостатньо високий технічний рівень та культура інженерної служби та недостатній рівень технічного сервісу.

Мета статті (постановка завдання) – на основі технічних та технологічних характеристик сучасних зернозбиральних комбайнів нами запропоновано обрати більш вагомий критерій з урахуванням досвіду використання таких машин аграрними підприємствами та за допомогою багатокритеріального методу «за відстанню до цілі»; обґрунтувати кращий варіант рішення по виборі зернозбирального комбайна з урахуванням специфіки обмолоту різних сільськогосподарських культур та конструкцій молотильно-сепарувальних пристроїв.

Виклад основного матеріалу дослідження. Враховуючи виробничі напрямки та потужності сільськогосподарських підприємств, виробники зернозбиральної техніки пропонують машини різних класів по потужності моторно-силової установки, продуктивності молотарки, конструкції молотильно-сепарувального пристрою та інших технічних та технологічних характеристик зернозбиральних комбайнів. Таким чином обґрунтовується значний спектр варіантів виконання моделей запропонованої зернозбиральної техніки.

Одним із важливих моментів при виборі збирального комплексу машин для конкретного сільськогосподарського підприємства є висока продуктивність зернозбирального комбайна. Стратегія вибору комбайнів високої продуктивності направлена на можливість забезпечувати оптимальні стислі терміни збирання врожаю. Але при цьому також велика роль надається вартості використання машин збирального комплексу, а саме експлуатаційним витратам. Такі витрати включають вартість ремонту та технічного обслуговування, в тому числі і вартість запасних частин; заробітну плату з нарахуваннями; вартість паливо-мастильних матеріалів, амортизаційні відрахування; вартість зберігання.

Перевагою багатьох зернозбиральних комплексів закордонного виробництва в наш час є широке застосування сучасних комп'ютерних технологій, таких як системи автоматичного контролю та управління технологічними процесами, системи моніторингу полів та передачі даних, діагностичні системи складних вузлів і агрегатів комбайна [7, 8, 9]. Такі зернозбиральні машини складні не тільки у використанні, але й потребують дороговартісного висококваліфікованого обслуговування та сервісних робіт, що в майбутньому спричинить додаткові суттєві витрати.

Більш розповсюдженою та загальновідомою конструкцією зернозбиральної техніки є комбайни, що мають молотарку класичного типу з тангенційним молотильним бильним барабаном. Основною частиною молотарки таких комбайнів є тангенційний бильний молотильний барабан або декілька таких барабанів та сепараторів. Рух хлібної маси проходить поперек осі обертання барабану (барабанів). Обмолот зерна відбувається за рахунок удару бичів тангенційного барабана по колоскам. Якщо замість бичів встановлюються інші робочі органи, наприклад штифти чи фігурні ребра, то такий пристрій виконує функцію стабілізатора потоку та сепаратора, що відділяє значну частину (до 60%) дрібного вороху від соломи. Конструкції тангенціальних барабанів в основному відмінні по діаметру та по особливостям виготовлення підбарабання (одно, двох радіусне та ін.)

Також в останні роки спостерігається тенденція до широкого розповсюдження зернозбиральних комбайнів з аксіально-роторною молотильно-сепарувальною схемою обмолоту. Основною відмінністю таких машин в порівнянні з комбайнами, які побудовані за класичною схемою, є те, що в таких конструкціях тангенційний молотильно-сепарувальний барабан або їх комбінація з тангенційними сепараторами та клавішні соломотряси каскадного типу замінено на розташований аксіально (поздовжньо відповідно проходження хлібної маси) молотильно-сепарувальний ротор з гвинтовими напрямними хлібної маси, який обертається в циліндричних деках. Обмолот і сепарація зерна виконується в міру переміщення зібраної маси врожаю по напрямку паралельно повздовжній вісі ротора за рахунок тертя між робочою поверхнею ребер ротора і напівциліндрами дек ротора. Тобто процес удару бича бильного тангенціального барабану замінено на процес витирання рослинної маси між поверхнею ребер ротора і деки.

Така система сепарації за допомогою аксіально-роторних молотарок набагато менше (3-5разів) травмує зерно. При цьому слід враховувати не тільки видиму руйнацію зерна, але й компресійні пошкодження. Одними з основних недоліків роботи такої системи являються підвищені питомі енергетичні витрати процесу виділення зерна, і як наслідок, у таких комбайнів більша витрата палива. на 20-40% на 1 т намолоченого зерна [1].

Значного пошкодження аксіально-роторні сепаратори зернозбиральних комбайнів отримують у випадку потрапляння в них сторонніх твердих предметів. Незадовільні результати роботи таких систем спостерігаються і під час збирання забур'янених посівів сільськогосподарських культур, що є наслідком підвищення вологості технологічного матеріалу. Продуктивність роторних комбайнів у такому випадку суттєво зменшується, а втрати врожаю перевищують 5-10%.

Тобто, ефективну, технологічно обґрунтовану, якісну роботу таких машин можливо отримати на збиранні відносно крупного зерна з сухою технологічною масою. Таким вимогам відповідають з основних культур зернова кукурудза, горох, соняшник та соя.

Перевагою роторного сепаратора в порівнянні з клавішним каскадним соломотрясом є більш інтенсивне розділення дрібного та грубого вороху, а також однакова якість роботи на рівних та похилих ділянках поля (у клавішного каскадного соломотряса спостерігається незадовільна сепарація при роботі зернозбирального комбайна на схилах).

Інноваційним напрямом сучасного комбайнобудування став альтернативний шлях, де використовуються комбіновані системи обмолоту. У такому випадку обмолот зерна і основна сепарація хлібної маси здійснюється класичним тангенціальним барабаном або їх комбінацією, а сепарація грубого вороху – роторними сепараторами з аксіальним напрямом руху хлібної маси. Такі зернозбиральні комбайни випускають фірми «Клаас» (марки Lexion 570, Lexion 580 I Lexion 600, Lexion 770, Lexion 780, Tucano 470 I Tucano 480), «Джон Дір» (C 670) I «Нью Холанд» (CS 6090 I CSX 7080).

Останні зернозбиральні комбайни фірми «Клаас» з комбінованими молотильно - сепарувальними пристроями спроектовані як комбінація молотильної системи APS тангенціального типу з класичним бильним барабаном посередині – прискорювач (стабілізатор) хлібної маси, молотильний барабан і відбійний бітер з комбінацією роторних сепараторів Roto Plus. Така технологічна комбінація трьох тангенціальних барабанів надає значне прискорення потоку хлібної маси від 3 м/с до 20 м/с. Останнє сприяє збільшенню рівномірності подачі технологічної хлібної маси до барабана і підсилення додаткової сепарації зерна за рахунок дії відцентрових сил [1].

Після проходження зібраної хлібної маси через систему APS зерно виділяється роторною системою сепарації Roto Plus, що змонтована як двороторна конструкція з можливістю автоматичного регулювання зазорів між роторами та їхніми деками. Комбайни серії Lexion обладнано двома роторними

сепараторами, які обертаються у протилежних напрямках. Пропускна здатність таких комбайнів, за результатами випробувань УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, сягає понад 20 кг/с.

Яке рішення є більш доцільне при обиранні зернозбирального комбайна для конкретного господарства за конструкцією молотильно-сепарувальних агрегатів і пропускною потужністю? Відповідь на таке питання не є однозначною. В такому випадку є тільки загальні рекомендації. Тому на нашу думку такі рекомендації доцільно доповнити і методиками багатокритеріального обґрунтуванні інженерно-технологічних рішень.

Аналітичний метод багатокритеріального вибору по відстані до цілі ґрунтується на визначенні інтегрального критерію. Суть аналітичного методу полягає в обґрунтуванні віртуального ідеального варіанту за визначеними критеріями [2], наприклад зернозбиральний комбайн за мінімально можливою ціною та максимально можливою продуктивністю роботи, та оцінці міри наближення порівнюваних параметрів реальних зернозбиральних машин до ідеального варіанту. Показники всіх варіантів порівнюються з ідеальним і визначається відстань до цілі μ . Варіант з $\mu_{\min}$ вважається найкращим. Ідеальний – $\mu = 0$, при покращенні критеріїв в сторону зменшення:

Відстань до цілі, за умови покращення критерію в сторону зменшення [2]:

$$\mu = \frac{1}{N} \cdot \sum \left(\frac{U_i}{U_0} \right) - 1, \quad \mu \rightarrow 0 \quad (1)$$

де: N – кількість критеріїв; U_i – значення варіанту i -го критерію; U_0 – значення ідеалізованого варіанту (з найкращим значенням критерію i).

Відстань до цілі, за умови покращення критерію в сторону збільшення [2]:

$$\mu = \frac{1}{N} \cdot \sum \left(\frac{U_0}{U_i} \right) - 1, \quad \mu \rightarrow 0 \quad (2)$$

Скорегуємо вихідні дані [1] для розрахунків оптимального варіанту зернозбирального комбайна виробництва України, Білорусії, Росії в сторону зменшення, як покращення показників через обернені значення. Скореговані порівнювані показники та результати розрахунків подано в табл. 1.

Таким чином, з чотирьох порівнюваних варіантів (табл. 1) зернозбиральний комбайн Палессе GS 12 по досліджуваних п'яти критеріях виявився кращим, бо відстань до цілі в нього: $\mu = 0,14142$ найменша. Другу позицію зайняв зернозбиральний комбайн ACROS – 580. Третю позицію має зернозбиральний комбайн КЗС-9-1 «Славутич». Четвертим виявився зернозбиральний комбайн Скіф 350. Але перемістити комбайн КЗС-9-1 «Славутич» та Скіф 350 виробництва Херсонського машинобудівного заводу на перші місця може двадцятивідсоткова державна компенсація вартості нової сільськогосподарської техніки вітчизняного виробництва.

За вище наведеною методикою проводимо порівняння більш

розповсюджених зернозбиральних комбайнів з класичною молотильно-сепарувальною схемою обмолоту відомих світових виробників. Скорегуємо вихідні дані для розрахунків оптимального варіанту зернозбирального комбайна, провідних світових компаній, що використовують класичну схемою обмолоту зерна в сторону збільшення, як покращення показників через обернені значення. За визначеною методикою проводимо аналогічні розрахунки багатокритеріального рішення за відстанню до цілі, але в цьому варіанті покращення критеріїв відбувається в сторону збільшення. Результати розрахунків та порівнювані показники подано в табл. 2.

Таблиця 1 – Вихідні дані та результати розрахунків оптимального варіанту зернозбирального комбайна виробництва України, Білорусії, Росії, що скоректовані через обернені показники в сторону зменшення як відстань до цілі, (Джерело:[1], опрацьовано та розраховано авторами)

Марка комбайна	Порівнювальні критерії					Відстань до цілі, μ
	Обернений показник - номінальна потужність двигуна, $1/P_n$, $1/kBt$	Обернений показник - коефіцієнт надійності, $1/K_n$	Витрата Палива g, кг/т зерна	Маса комбайна m, т	Ціна комбайна, C_m , грн.	
КЗС-9-1	0,00578	1,66666	3,7	14	2631000	0,17988
Скіф-350	0,00387	1,42857	3,6	17,7	4520000	0,23752
Палессе GS 12	0,00411	1,25000	3,6	16,6	3700000	0,14142
ACROS - 580	0,00452	1,25000	3,7	13, 4	4450000	0,17742

Таблиця 2 – Вихідні дані для зернозбиральних комбайнів провідних світових компаній, які використовують класичну схемою обмолоту зерна що скоректовані через обернені показники в сторону збільшення, як відстань до цілі та результати розрахунків (Джерело:[1], опрацьовано та розраховано авторами)

Порівнювані критерії	Фірма-виробник, модель			
	CLAAS LEXION 540	JOHN DEERE T-670	NEW HOLLAND CX 8080	MASSEV FERGUSON MF 7280
Номінальна потужність двигуна, P_n , кВт	230	299	260	278
Загальна площа сепарації МСП, S м ²	2,17	3,36	2,54	2,16
Обернений показник до маси комбайна, $1/m$, $1/t$	0,055035	0,06540	0,07299	0,0612745
Обернений показник до орієнтовної ціни комбайна, $1/C$, $1/t.Євро$	0,0034482	0,0041666	0,0056179	0,0037037
Площа сепарації соломотряса, S_c , м ²	7,48	5,40	5,93	10,47
Відстань до цілі, μ	0,444	0,2740	0,2471	0,2652

В такому випадку (табл.2) рейтинг зернозбиральних комбайнів закордонного виробництва з класичною молотильно-сепарувальною системою наступний:

1. зернозбиральний комбайн NEW HOLLAND CX 8080;
2. зернозбиральний комбайн MASSEV FERGUSON MF 7280;
3. зернозбиральний комбайн JOHN DEERE T-670;
4. зернозбиральний комбайн CLAAS LEXION 540.

Наступним етапом проведемо порівняння зернозбиральних комбайнів з аксіально-роторною системою молотильно-сепарувального пристрою. Трансформуємо вихідні порівнювальні характеристики зернозбиральних комбайнів (табл.3) таким чином, щоб всі обрані критерії покращувались в сторону збільшення через обернені показники. Основні критерії, за якими було здійснено порівняння та проведені розрахунки, наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані зернозбиральних комбайнів провідних світових компаній, які використовують аксіально-роторну схемою обмолоту зерна, що скоректовані через обернені показники в сторону збільшення, як відстань до цілі, (Джерело: [1], опрацьовано та розраховано авторами)

Порівнювальні критерії	Фірма-виробник, модель				Ростсільмаш TORUM 740
	JOHN DEERE S 690	NEW HOLLAND CR 9080	MASSEV FERGUSON MF 9895	Challenger 680B	
Номінальна потужність двигуна, кВт	395	337	339	317	294
Площа сепарації МСП, м ²	3,00	3,06	1,55	1,54	1,30
Площа реші очистки, м ²	4,70	6,50	5,35	5,35	5,20
Місткість бункера, м ³	11,0	10,5	12,3	12,3	10,5
Обернений критерій: 1/маса комбайна, 1/т	0,0639549	0,064935	0,0695894	0,0584795	0,061162
Обернений критерій 1/орієнтовна ціна, 1/т євро	0,0055555	0,0071428	0,0052631	0,0058823	0,0083333
Відстань до цілі, μ	0,1846	0,099	0,3220	0,3416	0,3730

За відомою методикою [1] проводимо наступні розрахунки багатокритеріального рішення за відстанню до цілі, в цьому варіанті покращення критеріїв також відбувається в сторону збільшення.

Таким чином, рейтинг зернозбиральних комбайнів які використовують аксіально-роторну схемою обмолоту зерна за результатами аналітичних розрахунків (табл.3) методом за відстанню до цілі має наступний вигляд:

- зернозбиральний комбайн NEW HOLLAND CR 9080;

- зернозбиральний комбайн JOHN DEERE S 690;
- зернозбиральний комбайн MASSEV FERGUSON MF 9895;
- зернозбиральний комбайн Challenger 680B;
- зернозбиральний комбайн Ростсільмаш TORUM 740.

Прикінцевим етапом даної частини досліджень проведемо порівняльний аналіз зернозбиральних комбайнів, що використовують комбіновану систему обмолоту. Трансформуємо всі обрані критерії покращувались в сторону збільшення через обернені показники. Порівняльні критерії та результати розрахунків опрацьовано та наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Вихідні дані зернозбиральних комбайнів провідних світових компаній, які використовують комбіновану схемою обмолоту зерна, що скоректовані через обернені показники в сторону збільшення, як відстань до цілі та результати розрахунків (Джерело: [1], опрацьовано та розраховано авторами)

Порівнювальні критерії	Фірма-виробник, модель		
	CLAAS LEXION 570/ 570 TERRA TRAC	CLAAS LEXION 600/ 600 TERRA TRAC	JOHN DEERE C 670
Номінальна потужність, кВт	313	390	299
Загальна площа очищення, м ²	5,1	6,2	4,55
Місткість бункера, м ³	10,5	12,0	10,0
Обернений критерій маса комбайна, 1/т	0,0724637	0,0704225	0,0653167
Обернений критерій, 1/орієнтовна ціна, тис.євро	0,0026315	0,0025	0,0028571
Відстань до цілі, μ	0,1332	0,0290	0.1940

З використанням формули 1 та методики [2] проводимо наступні розрахунки багатокритеріального рішення за відстанню до цілі, в цьому варіанті покращення критеріїв також відбувається в сторону збільшення. Отже, рейтинг зернозбиральних комбайнів які використовують комбіновану схему обмолоту зерна за результатами аналітичних розрахунків методом за відстанню до цілі (табл.4) має наступний вигляд:

- зернозбиральний комбайн CLAAS LEXION 600/600 TERRA TRAC;
- зернозбиральний комбайн CLAAS LEXION 570/570 TERRA TRAC;
- зернозбиральний комбайн JOHN DEERE C 670.

Але такі комбайни досить дорого коштують, тому фінансові обмеження аграрних підприємств не завжди дають змогу їх придбати.

Метод багатокритеріального вибору за відстанню до цілі дуже наглядно інтерпретується графічно [2]. Для його реалізації необхідно побудувати графік з числом координатних осей, що дорівнює числу критеріїв у вигляді пелюсткової діаграми. При цьому можливо використовувати програмне забезпечення Microsoft Excel. При цьому не слід забувати, що і як у аналітичних розрахунках методу за відстанню до цілі, у графічній його інтерпретації усі порівнювані

критерії мають бути узгоджені в одномірності – збільшення або зменшення у одну сторону.

З'єднані лініями значення критеріїв на пелюсткових діаграмах утворюють багатокутники. Площі таких багатокутників порівнюються між собою. Ідеалізований варіант – відповідно багатокутник з найменшою або найбільшою теоретично можливою площею за порівнюваними числовими значеннями критеріїв. Багатокутники, що відтворюють комплексну характеристику реального об'єкта досліджень, в нашому випадку зернозбирального комбайна, тим краще, чим якнайближче наближені до ідеалізованого теоретичного варіанту.

Узагальнений критерій відстані до цілі μ , визначається як відношення площі Π і-го варіанту до площі ідеалізованого [2].

$$\mu_i = \frac{\Pi_i}{\Pi_0}, \mu \geq 1 \quad (3)$$

Площа багатокутника визначається як Σ площ трикутників із сторонами, що відповідають значенням критеріїв K_i [2].

$$\Pi = \Sigma \Pi_i, \Pi_i = \frac{1}{2} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (4)$$

Одним з суттєвих недоліків такого методу є те, що абсолютні значення критеріїв відрізняються між собою на порядок і вище. А величини Π_i і μ , залежать навіть від взаємного розташування критеріїв на графіку [2].

Виключити такий недолік можливо переходом у відносні одиниці вимірювання - нормуванням критеріїв: розділити цифрове значення кожного реального критерію на його кращий в таблиці порівнянь ідеалізований варіант. В такому разі визначення комплексного оціночного параметру за відстанню до цілі буде більш точним [2].

Тому перетворимо дані з табл. 1, табл. 2, табл. 3, табл. 4 для зручності побудови пелюсткових графіків шляхом ділення реальних показників – порівнювальних критеріїв на їх найкращий ідеалізований варіант та в середовищі програмного забезпечення Microsoft Excel будуюмо пелюсткову діаграму (рис.1), що графічно інтерпретує відносні показники порівнювальних критеріїв зернозбиральних комбайнів виробництва України, Білорусії, Росії по методу за відстанню до цілі.

За перетвореними даними з табл. 2 в середовищі програмного забезпечення Microsoft Excel будуюмо пелюсткову діаграму (рис. 2), що графічно інтерпретує відносні показники порівнювальних критеріїв зернозбиральних комбайнів світових компаній, які використовують класичну схемою обмолоту зерна по

методу за відстанню до цілі.

За перетвореними даними з табл. 3 в середовищі програмного забезпечення Microsoft Excel будуємо пелюсткову діаграму (рис. 3) для зернозбиральних комбайнів, провідних світових компаній, які використовують аксіально-роторну схемою обмолоту зерна.

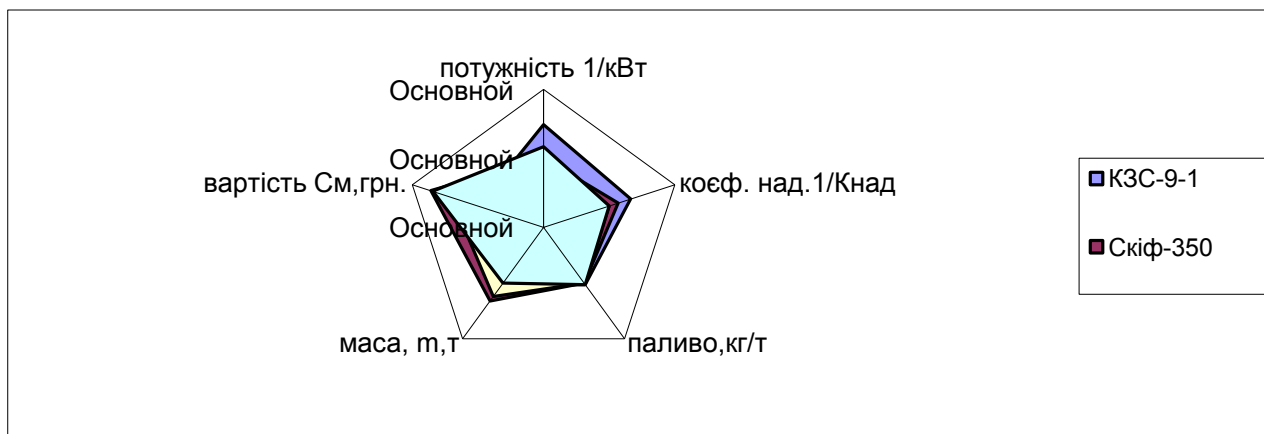


Рис.1 – Графічна інтерпретація багатокритеріального вибору по методу за відстанню до цілі для зернозбиральних комбайнів виробництва України, Білорусії, Росії. Кращий варіант - Палессе GS 12 виробництва Білорусії.

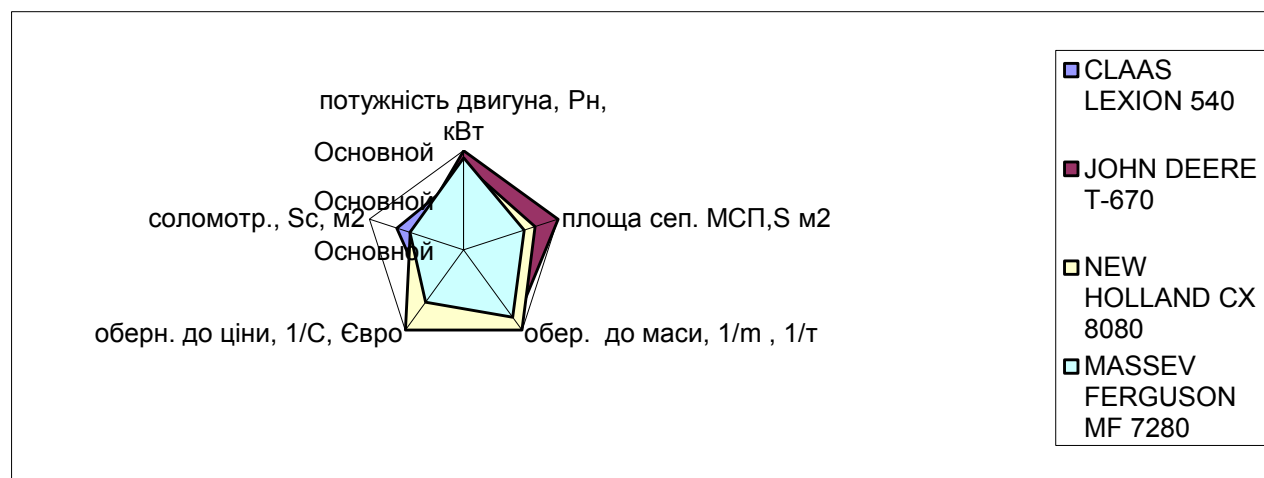


Рис. 2 – Графічна інтерпретація багатокритеріального вибору по методу за відстанню до цілі для зернозбиральних комбайнів, провідних світових компаній, які використовують класичну схемою обмолоту зерна. Кращий варіант – NEW HOLLAND CX 8080.

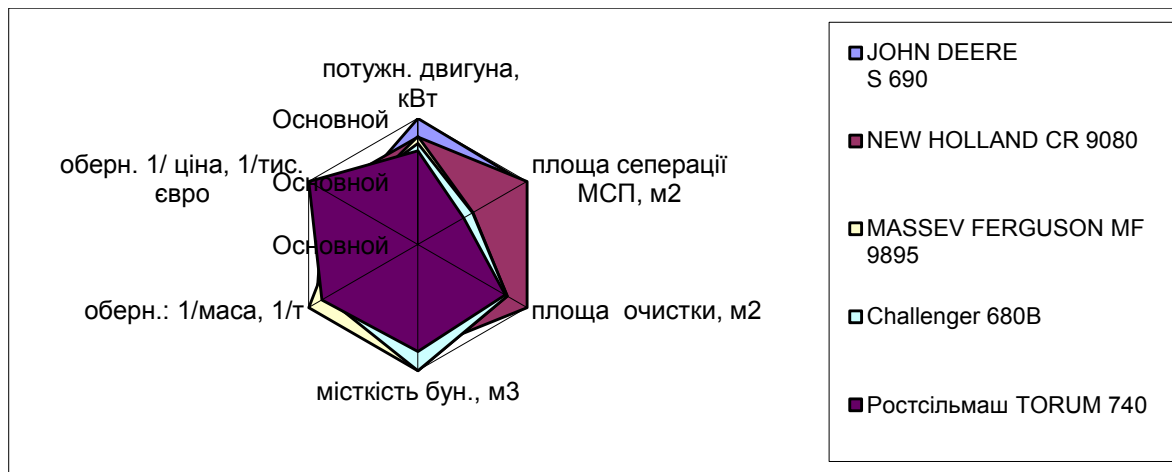


Рис 3 – Графічна інтерпретація багатокритеріального вибору по методу за відстанню до цілі для зернозбиральних комбайнів, провідних світових компаній, які використовують аксіально-роторну схемою обмолоту зерна.

Кращий варіант – зернозбиральний комбайн NEW HOLLAND CR 9080.

За перетвореними даними з табл. 4 в середовищі програмного забезпечення Microsoft Excel будуємо пелюсткову діаграму (рис. 4), що графічно інтерпретує відносні показники порівнювальних критеріїв зернозбиральних комбайнів світових компаній, які використовують комбіновану схемою обмолоту зерна по методу за відстанню до цілі.

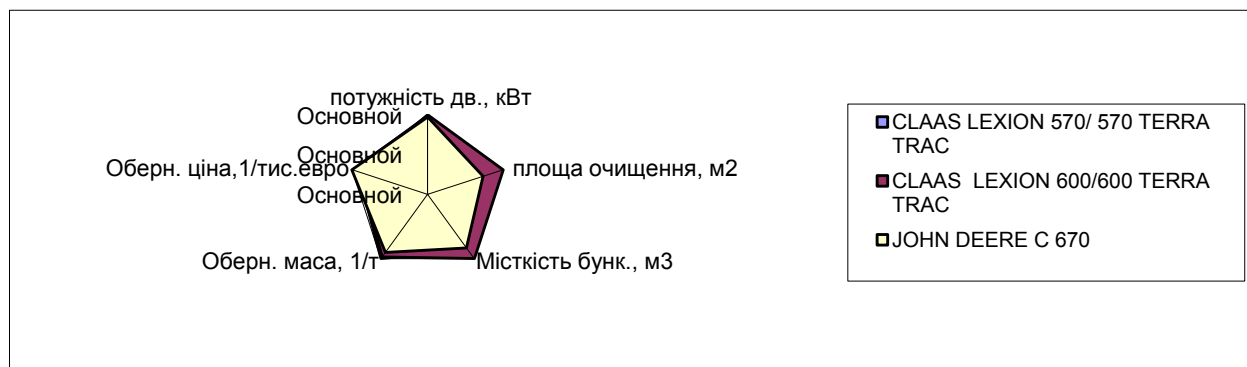


Рис. 4 – Графічна інтерпретація багатокритеріального вибору по методу за відстанню до цілі для зернозбиральних комбайнів, провідних світових компаній, які використовують комбіновану схемою обмолоту зерна. Кращий варіант – зернозбиральний комбайн CLAAS LEXION 600/600 TERRA TRAC.

Результати графічної інтерпретації багатокритеріального вибору зернозбиральних комбайнів з використанням методу за відстанню до цілі наведені на рис. 1, рис. 2, рис 3, рис 4.

Отже, кращими комбайнами по типах систем обмолоту та сепарації зерна за результатами багатокритеріального методу за відстанню до цілі відповідно стали:

- зернозбиральний комбайн Палессе GS 12 - група машин виробництва

країн бувшого СНД;

- зернозбиральний комбайн NEW HOLLAND CX 8080 – група машин закордонного виробництва з класичною молотильно-сепарувальною системою;
- зернозбиральний комбайн NEW HOLLAND CR 9080 – група машин, які використовують аксіально-роторну схемою обмолоту зерна;
- зернозбиральний комбайн CLAAS LEXION 600/600 TERRA TRAC - група машин, які використовують комбіновану схемою обмолоту зерна.

Висновки з даного дослідження та перспективи подальших розробок у даному напрямку:

1. У сучасному сільськогосподарському виробництві проблема раціонального вибору зернозбирального комбайна це складне багатокритеріальне господарське рішення. Спочатку треба врахувати виробничі потреби по обмолоту зернових культур, агротехнічні вимоги та агротехнічні особливості конкретного сільськогосподарського підприємства; потім визначити основні домінуючі параметри комплексу збиральних машин та бажано співставити їх по ступені вагомості. Нажаль, домінуючим та обмежувальним критерієм вибору є ціна комбайна.

2. Результатами розрахунків є наступний рейтинг досліджуваних машин:

3 чотирьох порівнюваних варіантів зернозбиральних комбайнів виробництва країн бувшого СНД, з класичною схемою обмолоту, комбайн Палессе GS 12 по досліджуваних п'яти критеріях виявився кращим, бо відстань до цілі в нього найменша. Другу позицію зайняв зернозбиральний комбайн ACROS – 580. Третю позицію має зернозбиральний комбайн КЗС-9-1 «Славутич». Четвертим виявився зернозбиральний комбайн Скіф 350. Але перемістити комбайн КЗС-9-1 «Славутич» та Скіф 350 виробництва Херсонського машинобудівного заводу на перші місця може двадцятивідсоткова державна компенсація вартості нової сільськогосподарської техніки вітчизняного виробництва.

3. Рейтинг порівнювальних зернозбиральних комбайнів закордонного виробництва з класичною молотильно-сепарувальною системою наступний: зернозбиральний комбайн NEW HOLLAND CX 8080; зернозбиральний комбайн MASSEV FERGUSON MF 7280; зернозбиральний комбайн JOHN DEERE T-670; зернозбиральний комбайн CLAAS LEXION 540.

- Рейтинг зернозбиральних комбайнів які використовують аксіально-роторну схемою обмолоту зерна за результатами аналітичних розрахунків методом за відстанню до цілі полягає у наступному: зернозбиральний комбайн NEW HOLLAND CR 9080; зернозбиральний комбайн JOHN DEERE S 690; зернозбиральний комбайн MASSEV FERGUSON MF 9895; зернозбиральний комбайн Challenger 680B; зернозбиральний комбайн Ростсільмаш TORUM 740.

4. Рейтинг зернозбиральних комбайнів які використовують комбіновану схему обмолоту зерна за результатами аналітичних розрахунків методом за відстанню до цілі такий: зернозбиральний комбайн CLAAS LEXION 600/600 TERRA TRAC; зернозбиральний комбайн CLAAS LEXION 570/570 TERRA TRAC; зернозбиральний комбайн JOHN DEERE С 670.

5. При проведенні подальших досліджень додаткову увагу слід надати таким критеріям: проектній пропускній спроможності технологічної хлібної маси (кг/с) зернозбирального комбайна та номінальній продуктивності молотарки по зерну (т/год); а також показникам енергетичної ефективності та екологічності – витраті палива, кг/т зерна; експлуатаційній масі, т. Таки показники більш ґрунтовно дають можливість оцінювати технічні, технологічні та екологічні характеристики пропонованих комбайнів, їх специфічні конструктивні особливості та одержати питомі (долучені до одиниці продуктивності або до одиниці площі) показники конструктивно-технологічного рівня з урахуванням степеня шкідливого впливу аграрного виробництва.

Список використаних джерел

1. В. Гречкосій, І. Дацюк. Обмолот: схеми і способи. Механізація АПК.02.03.2012р. URL: http://agro-business.com.ua/images/4-227/4_46.jpg.
2. Нагірний Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень./ – К.: Урожай, 1994 – 216 с.
3. Sheychenko V., Anelak M., Kuzmych A., Gritsaka O., Dudnikov I., Tolstushko N. *Investigation of the grain separation process in the three-drum threshing-separating device of a combine harvesterscientific* -VI International scientific congress agricultural machinery. 25.06 – 28.06.2018 Burgas, Bulgaria, с. 27-32.
3. Шейченко В.О. Недовесов В.І., Анеляк М.М., Кузьмич А.Я., Грицака О., Дудніков І.А. Особливості обмолоту та сепарації зерна в багатобарабанному молотильно-сепарувальному пристрої. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. наук. зб. Глеваха, 2018. Вип. №7 (106). с. 63–73.
4. Шейченко В., Анеляк М., Кузьмич А., Дудніков І. Від пшениці до соняшнику. Агромакет, червень, 2018, №7, с.76-79.
5. Шейченко В.О. Робота над соломою. Farmer №8(104) | серпень 2018 р., с. 146-150.
6. Герасименко Р. Д., Броварець О. О. Система моніторингу врожайності сільськогосподарських культур. Хранение и переработка зерна. 2014. № 7 (184). С.22-25.
7. Куценко М. Датчики в системах картування врожайності. The Ukrainian Farmer. 2009. №9-10. URL: <http://agroit.com.ua/story/46-datchiki-v-sistemah->

kartirovaniya-urozhaynosti.html.

8. Погорілий Л., Івасюк В., Соломаха О. До практичної реалізації моніторингу ґрунтів у системі точного землеробства. Техніка АПК. 2002. №10-11 (жовтень-листопад). – С. 8-9.

Abstract

MULTI-CRITERIAN SELECTION OF MODERN GRAIN-BASED COMBINES. ANALYTICAL ASPECTS

Burlaka O, Yakhin S., Dudnik V., Ivankova O., Drozchana O.

In this article, analytical studies have been carried out on the multicriterial substantiation of the choice of modern combine harvesters. The peculiarities of the design of the hammer-separator combine harvesters and features of harvesting of various crops are considered. Technological aspects of the use of combine harvesters are comparable with classical, rotary and combined torches. The article uses the analytical method of multicriteria selection of modern combine harvester "for distance to the target".

The main comparative criteria were chosen: rated engine power; the area of separation of the threshing machine; grill area for cleaning; bunker capacity; mass of combine; indicative price; fuel consumption, coefficient of reliability.

Grain combines are conventionally divided in relation to manufacturers and features of the design of the threshing-separating device on the groups of machines produced in Ukraine, Belarus and Russia with a classic threshing machine – grain harvesters "Skif" and KSS-9-1 "Slavutich", "Palessa" GS 12, ACROS-580; combine harvesters with a classical hammer of leading foreign firms – CLAAS LEXION 540, JOHN DEERE T-670, NEW HOLLAND CX 8080, MASSEV FERGUSON MF 7280; combine harvesters with rotor grinding scheme of leading foreign firms – JOHN DEERE S 690, NEW HOLLAND CR 9080, MASSEV FERGUSON MF 9895, CHALLENGER 680B, Rostselmash TORUM 740; combine harvesters from leading oversea companies with combined threshing system – CLAAS LEXION 570/570 TERRA TRAC, CLAAS LEXION 600/600 TERRA TRAC, CLAAS LEXION 770, JOHN DEERE C 670.

On the basis of the listed criteria and analytical calculations the rating of grain harvesting combines with the account of the structures of threshing-separation systems is obtained.

Keywords: *combine harvester, multi-criteria choice, technology, crops, method, substantiation, criterion, threshing and separation system.*

Аннотация

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР СОВРЕМЕННЫХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ. АНАЛИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Бурлака О.А., Яхин С.В., Дудник В.В., Иванкова О.В., Дрожжана О.У.

Проведены аналитические исследования по многокритериальному обоснованию выбора современных зерноуборочных комбайнов. Учтены особенности конструкций молотильно-сепарационных устройств комбайнов и особенности уборки различных сельскохозяйственных культур.

Проведено сравнение технологических аспектов использования зерноуборочных комбайнов с классическими, роторными и комбинированными молотилками. В статье использовано аналитический метод многокритериального выбора современных зерноуборочных комбайнов «за расстоянием до цели».

Основными сравниваемыми критериями были обраны: номинальная мощность двигателя, кВт; площадь сепарации молотилки, м²; площадь решет очистки, м²; емкость бункера, м³; массу комбайна, кг; приблизительную цену, евро; расход топлива, кг/т зерна, коэффициент надежности.

Сравниваемые зерноуборочные комбайны условно поделены относительно фирм-производителей, а также особенностей конструкции молотильно-сепарационных устройств на группы машин производства Украины, Белоруссии та России с классической молотилкой – зерноуборочные комбайны «Скиф» та КЗС-9-1 «Славутич», «Палессе» GS 12, ACROS – 580; зерноуборочные комбайны с классической молотилкой ведущих зарубежных фирм – CLAAS LEXION 540, JOHN DEERE T-670, NEW HOLLAND CX 8080, MASSEV FERGUSON MF 7280; зерноуборочные комбайны с роторною схемой обмолота ведущих зарубежных фирм – JOHN DEERE S 690, NEW HOLLAND CR 9080, MASSEV FERGUSON MF 9895, CHALLENGER 680B, Ростсельмаш TORUM 740; зерноуборочные комбайны ведущих зарубежных фирм с комбинированной системой обмолота – CLAAS LEXION 570/570 TERRA TRAC, CLAAS LEXION 600/600 TERRA TRAC, CLAAS LEXION 770, JOHN DEERE C 670.

На основе перечисленных критериев и аналитических расчетов получен рейтинг зерноуборочных комбайнов с учетом конструкций молотильно-сепарационных систем.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, многокритериальный выбор, технология, сельскохозяйственные культуры, метод, обоснование, критерий, молотильно-сепарационная система.