

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2026-26-1-23>

УДК 631.354.2

О. О. Шокарев, ст. викл.

ORCID: 0009-0008-5675-0376

М. М. Данченко, канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0001-7555-6511

І. В. Колокольчикова, д-р ек. наук, проф.

ORCID: 0000-0002-5692-0901

О. М. Шокарев, канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0001-8646-4524

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: alexandr.shokarev@gmail.com

ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ ОБЧІСУВАЛЬНО-РІЗАЛЬНОГО МОДУЛЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

Анотація. До нових технологій комбайнового збирання зернових культур відноситься і метод обчисування рослин на корені. Однак основним стримуючим фактором широкого впровадження у виробництво нової зернозбиральної техніки залишається проблема зниження втрат врожаю при очесу та збиранні зерна з одночасним збиранням обчесаного на корені стеблом.

Процес обчисування колосків з мінімальними втратами зерна потребує на першому етапі досліджень проведення функціонально-вартісного аналізу. Дослідження процесу збирання незернової частини врожаю також починаємо з проведення функціонально-вартісного аналізу.

Наведено загальну методіку проведення функціонально-вартісного аналізу, який дозволив виявити не досконалі зони обчисувального модуля зернозбирального комбайну. Недосконалими є функції обчисування на корені та зрізання обчесаних стебел, а також транспортування стеблин в зону формування валка. На підставі результатів функціонально-вартісного аналізу запропоновані напрямки досліджень з метою підвищення ефективності роботи всього зернозбирального комбайну обчисувального типу. Це і обґрунтування конструктивних параметрів обчисувальних граблин і об'єднання двох функцій обчисувального модуля, таких як функції обчисування на корені та транспортування вороху до шнеку. Що стосується різального пристрою, так це об'єднання функцій очищення зони зрізання, переорієнтації стеблин, укладання стеблин на транспортер, при цьому слід обґрунтувати робочі органи пристрою, який виконує вказані функції, а також вдосконалення функцій транспортування стеблин в зону формування валка так і самого формування валка.

Ключові слова: обчисування рослин на корені; функціонально-вартісний аналіз; обчисувальний модуль; різальний пристрій.

Постановка проблеми. Найактуальнішими проблемами під час збирання врожаю є підвищення економічної ефективності комбайнового парку. А це і збільшення продуктивності, і зменшення втрат зерна під час проведення збиральних робіт. Водночас необхідно зменшувати енерго- і металоємність технологічного процесу збирання зернових культур.

Одним із напрямів вирішення наявної проблеми є підвищення пропускної здатності комбайнів. Це може бути досягнуто завдяки оснащенню їх модулями обчисувального типу.

Особливість цього способу полягає у тому, що обчисувальний пристрій, що прикріплений до комбайна замість жниварки, виконує обмолот зернових культур на корені з наступним збором та доопрацюванням обчесаного вороху у комбайні. Незернова частина врожаю (обчесані стеблини) у молотильно-сепаруючій пристрій комбайна не потрапляють, у результаті чого досягається істотне підвищення пропускної здатності комбайна [1; 4].

Переваги цього способу перед традиційним прямим комбайнуванням полягають у такому: підвищення продуктивності збирання зернових культур; зменшення втрат зерна та його трав-

мування; зменшення енергоємності комбайна; скорочення строків збирання та звільнення поля під врожай майбутнього року.

Однак проблема полягає в тому, що процес обчісування колосків з мінімальними втратами зерна, як і процес збирання незернової частини врожаю (обчесаних стеблин), не досить досліджено, а конструкція робочих органів потребує додаткових обстежень і обґрунтувань [2; 3].

Аналіз останніх досліджень. Обчісувальний пристрій за технологічними вимогами повинен забезпечити виконання таких функцій, як підвід стебел у зону обчісу, обчісування рослин на корені, транспортування вороху до шнеку, транспортування вороху до похилої камери. Наведені функції можуть виконувати як двобарабанні обчісувальні пристрої (рис. 1), так і однобарабанні пристрої (рис. 2).

Однак процес обчісування колосків з мінімальними втратами зерна не досить надійний і потребує на першому етапі досліджень проведення функціонально-вартісного аналізу.

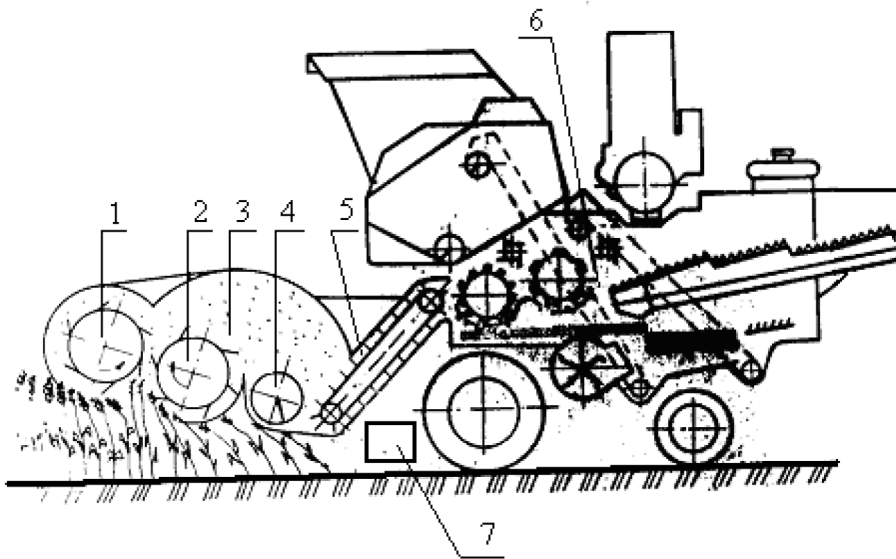


Рис. 1. Технологічна схема зернозбирального комбайна обчісувального типу:
1 – перший (передній) барабан; 2 – другий (задній) барабан; 3 – камера обчісування; 4 – шнек;
5 – похила камера; 6 – молотильно-сепаруючий пристрій; 7 – різальний пристрій



Рис. 2. Обчісувальний пристрій конструкції УкрНІМЕСГ

Проблема збирання незернової частини врожаю у загальній технологічній схемі комбайнового збирання зернових культур методом обчісування рослин на корені зумовлена, з одного боку, обмеженим простором для здійснення технологічних операцій зрізання обчесаних стеблин, транспортування їх із зони різання та укладання у валок (невеликий виніс устаткування стосовно рушіїв комбайна, особливості конфігурації і розміри похилої площини), а з іншого боку, несприйнятною орієнтацією стеблин у зоні роботи різального устаткування (обчесані стеблини відхилені обчісувальним пристроєм вперед по ходу руху комбайна на кут $30...50^\circ$ до горизонту) (рис. 3).

І вирішення цієї проблеми теж потребує застосування нових, нестандартних рішень, заснованих на функціональному підході [3]. І тому дослідження процесу збирання незернової частини врожаю також починаємо з проведення функціонально-вартісного аналізу.

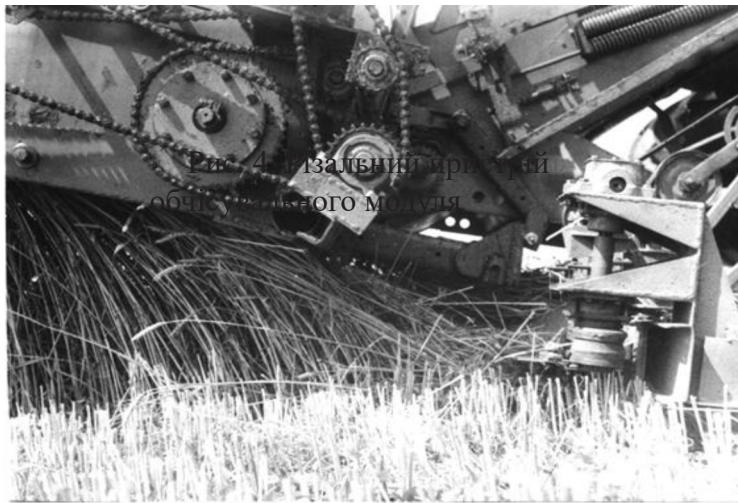


Рис. 3. Умови роботи різального пристрою в обчісувальному модулі



Рис. 4. Різальний пристрій обчісувального модуля

Постановка завдання. Ця стаття присвячена підвищенню надійності обчісувального модуля за рахунок дослідження систем у разі функціонально-вартісного аналізу (ФВА) і спирається на функціональний підхід, за якого система розглядається як сукупність функцій, що нею виконуються, і ведеться пошук кращого принципу реалізації цих функцій.

ФВА базується на системному дослідженні структури функцій об'єкта, співставленні їх корисності та вартості реалізації.



Основна частина. Специфічною процедурою ФВА є побудова функціонально-вартісних діаграм (ФВД), які є графічним зображенням співвідношення між значущістю (роллю) функцій і затратами на їх реалізацію. Побудова ФВД здійснюється з метою виявлення невідповідності затрат у відношенні до корисності функції.

ФВД будуються для групи функцій, що мають спільну вершину. В першому квадранті зображується корисність або значущість функцій, у другому – відносні затрати на функції.

В оцінці корисних функцій використовуємо метод розставлення пріоритетів. У разі попарного порівняння функцій у відповідних комірках матриці проставляють коефіцієнти переваг. Якщо функція в i -й стрічці має перевагу над функцією в j -у стовпчику, то коефіцієнт приймають рівним 1,5, за їх однакової значущості – 1,0, а за меншої – 0,5.

Коефіцієнти значущості λ_i і функції визначають за формулою:

$$\lambda_i = P_{ij} / \sum_{i=1}^n P_{ij}, \quad (1)$$

де P_{ij} – визначається як сума добутків кожного елементу i -ї стрічки на елементи вектор-стовпчика $\sum k_{ij}$, тобто

$$P_{ij} = [\overline{k_{ij}}] \cdot [\sum k_i] \downarrow, \quad (2)$$

$$P_{1j} = 1,0 \cdot 5,5 + 0,5 \cdot 7,0 + 1,5 \cdot 5,0 + 1,5 \cdot 3,5 + 1,0 \cdot 4 = 25,75$$

$$P_{2j} = 1,5 \cdot 5,5 + 1,0 \cdot 7,0 + 1,5 \cdot 5,0 + 1,5 \cdot 3,5 + 1,5 \cdot 4 = 34$$

Витрати у разі ФВА виступають як плата за корисність і можуть бути виражені в грошових або енергетичних одиницях. Узагальнений критерій витрат враховує затрати на всіх етапах життєвого циклу системи (проектування, виготовлення, використання, ліквідація та утилізація).

Стосовно сфери машиновикористання і рослинництва основне значення для прийняття раціональних рішень мають переважно експлуатаційні витрати. Вони інколи можуть бути в десятки разів більшими від вартості технічних засобів. Наприклад, експлуатаційні витрати за весь строк служби можуть перевищувати їх балансову вартість більше ніж 30 разів.

Дані розрахунків заносимо до таблиці 1.

Таблиця 1

Матриця пріоритетів функцій

№ функції	Назва функції	Коефіцієнт переваг, k_i					$\sum_{j=1}^{j=5} k_i$	P_{ij}	λ_i	ранг
		1	2	3	4	5				
Ф1	Підвід стебел у зону обчису	1,0	0,5	1,5	1,5	1,0	5,5	25,75	0,219	2
Ф2	Обчисування на корені	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	7,0	34,00	0,289	1
Ф3	Транспортування вороху до шнеку	0,5	0,5	1,0	1,5	1,5	5,0	22,50	0,191	3
Ф4	Транспортування вороху до похилої камери	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	3,5	16,25	0,138	5
Ф5	Зрізання обчесаних стебел	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	4,0	19,00	0,162	4
	Всього:	–	–	–	–	–	–	117,5	1,000	–

Експлуатаційні витрати на проведення технологічних операцій можуть бути визначені як прямі або приведені витрати коштів:

$$S_{\Pi} = S_A + S_{TO} + S_M + S_3 + S_D, \quad (3)$$

де S_{Π} – прямі витрати коштів на проведення операції;

S_A – амортизаційні відрахування по всіх технічних засобах, що задіяні на операції;

S_{TO} – витрати на технічне обслуговування і ремонт технічних засобів;



S_M – вартість ресурсів, що використані на операцію;
 S_3 – заробітна плата виробничого персоналу;
 S_D – додаткові витрати коштів.

Приведені витрати (S_{Pr}) визначаються за формулою:

$$S_{Pr} = S_{II} + K \cdot e, \quad (4)$$

де K – величина капіталовкладень;
 e – коефіцієнт ефективності капіталовкладень.

Під час побудови ФВД корисність і витрати бажано виражати в однакових одиницях: грошових або відносних.

Відносні (нормовані) значення корисності функцій і затрат на їх реалізацію у безрозмірному вигляді визначаються за формулами:

$$q_{\phi i} = \frac{Q_{\phi i} \cdot \lambda_i}{\sum_i^n Q_{\phi i} \cdot \lambda_i}, \quad (5)$$

$$s_{\phi i} = S_{\phi i} / S_0, \quad (6)$$

де $q_{\phi i}$, $Q_{\phi i}$ – відповідно відносне і абсолютне значення корисності i -ї функції;

λ_i – коефіцієнт значущості (ваговий коефіцієнт) i -ї функції;

$s_{\phi i}$, $S_{\phi i}$ – відповідно відносні та абсолютні затрати на i -ту функцію;

S_0 – загальні затрати на функцію, що є спільною вершиною для i -х функцій нижчого рівня ієрархії.

В оцінці долі витрат на реалізацію функцій використовуємо метод розставлення пріоритетів.

Дані розрахунків заносимо до таблиці 2 і будуємо діаграму (рис. 5).

Таблиця 2

Матриця долі витрат на реалізацію функції

№ функції	Назва функції	Коефіцієнт переваг, k_i					$\sum_{j=1}^{j=5} k_i$	P_{ij}	S_i	ранг
		1	2	3	4	5				
Ф1	Підвід стебел у зону обчісу	1,0	0,5	1,0	1,5	0,5	4,5	20,25	0,175	3
Ф2	Обчісування на корені	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	7,0	34,00	0,293	1
Ф3	Транспортування вороху до шнеку	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	4,0	18,50	0,158	4
Ф4	Транспортування вороху до похилої камери	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	3,5	16,25	0,138	5
Ф5	Зрізання обчесаних стебел	1,5	0,5	1,5	1,5	1,0	6,0	27,50	0,236	2
	Всього:	–	–	–	–	–	–	116,5	1,000	–

Співставлення витрат на одиницю корисності (значущості) дозволяє виявити недосконалі зони різального пристрою. Такими вважаються функції, для яких $S_i/\lambda_i > 1$. Серед усіх функцій ($\Phi 1 = 0,80$; $\Phi 2 = 1,01$; $\Phi 3 = 0,83$; $\Phi 4 = 1,00$; $\Phi 5 = 1,46$) недосконалими є функції обчісування на корені та зрізання обчесаних стебел.

Стосовно функції обчісування на корені для вдосконалення треба у разі завданої величини критерію корисності мінімізувати сукупні витрати. Цього можна досягнути за рахунок зниження втрат зерна та зменшення металоємності пристрою, зменшивши габарити конструкції. Зниження втрат зерна можна досягнути за рахунок обґрунтування конструктивних параметрів обчісувальних граблин, які дозволять не тільки зменшити втрати зерна, а і об'єднати дві функції обчісувального модуля, це функції обчісування на корені та транспортування вороху до шнеку. Об'єднання цих функцій, своєю чергою, дозволяє збільшити корисність (вдосконалість) зони обчісування на корені.

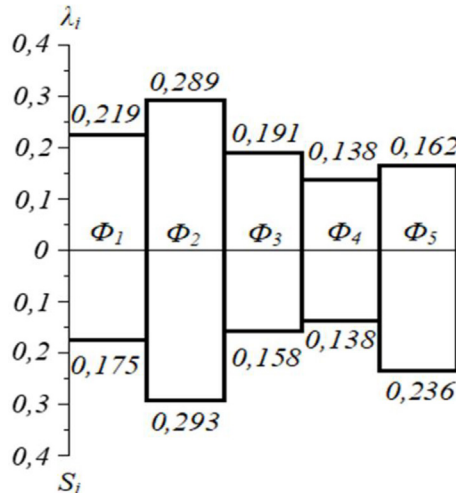


Рис. 5. Функціонально-вартісна діаграма аналізу обчисувального модуля

Для вдосконалення функції зрізання обчесаних стебел необхідно провести додаткові дослідження, які починаються з функціонально-вартісного аналізу різального пристрою зернозбирального комбайну обчисувального типу.

Насамперед необхідно визначитись з функціями, які повинен виконувати різальний пристрій в умовах, несприятливих для нормальної роботи відомих типів різальних апаратів. Для надійної роботи пристрій повинен переорієнтувати і подати обчесані стебла до різального апарату, при цьому постійно очищати зону різання, забезпечивши зрізання обчесаних стебел. У разі переорієнтації стебел необхідно не тільки забезпечити їх зрізання, але і укладання зрізаних стебел на транспортер. Різальний пристрій також повинен транспортувати стеблини до місця формування валка і здійснювати саме формування валка.

Дані розрахунків заносимо до таблиць 3 і 4 та будемо діаграму (рис. 6).

Таблиця 3

Матриця пріоритетів функцій

№ функції	Назва функції	Коефіцієнт переваг, k_i						$\sum_{j=1}^{i=5} k_i$	P_{ij}	λ_i	ранг
		1	2	3	4	5	6				
Ф1	Зрізання обчесаних стебел	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	8,5	49,00	0,247	1
Ф2	Очищення зони зрізання	0,5	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	6,5	36,00	0,182	2
Ф3	Переорієнтація стебел	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	5,5	30,00	0,151	4
Ф4	Укладання стебел на транспортер	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	5,0	28,00	0,141	5
Ф5	Транспортування стебел у зону формування валка	0,5	1,0	0,5	1,5	1,0	1,5	6,0	33,00	0,166	3
Ф6	Формування валка	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	4,0	22,25	0,113	6
	Всього:	–	–	–	–	–	–	–	198,25	1,000	–

Визначаємо недосконалі функції. В нашому випадку це будуть функції Ф1 (зрізання обчесаних стебел); Ф5 (транспортування стебел у зону формування валка): $\Phi 1 = 1,01$; $\Phi 2 = 0,90$; $\Phi 3 = 0,98$; $\Phi 4 = 0,90$; $\Phi 5 = 1,1$; $\Phi 6 = 1,00$.

Тому для першої функції (зрізання обчесаних стебел) треба у разі заданої величини критерію корисності мінімізувати сукупні витрати.

Другу функцію об'єднати з третьою і четвертою, які є вдосконаленими.

Таблиця 4

Матриця долі витрат на реалізацію функції

№ функції	Назва функції	Коефіцієнт переваг, k_i						$\sum_{j=1}^{j=5} k_i$	P_{ij}	S_i	ранг
		1	2	3	4	5	6				
Ф1	Зрізання обчесаних стеблин	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	8,5	49,00	0,249	1
Ф2	Очищення зони зрізання	0,5	1,0	1,5	1,0	0,5	1,5	6,0	32,50	0,165	3
Ф3	Переорієнтація стеблин	0,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,5	5,5	29,00	0,148	4
Ф4	Укладання стеблин на транспортер	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	4,5	25,00	0,127	5
Ф5	Транспортування стеблин у зону формування валка	0,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	7,0	39,00	0,198	2
Ф6	Формування валка	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	4,0	22,00	0,113	6
Всього:		-	-	-	-	-	-	-	196,5	1,000	-

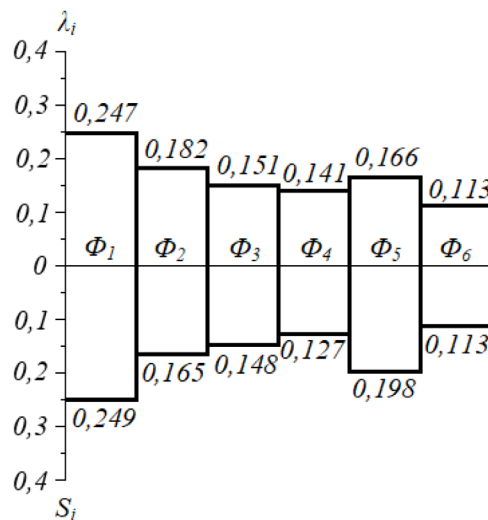


Рис. 6. Функціонально-вартісна діаграма аналізу різального пристрою

Функцію п'яту об'єднати з шостою і одночасно підвищити корисність функції і знизити сукупні витрати, тому що функція транспортування стеблин у зону формування валка є найбільш недосконалою функцією.

Висновки. Функціонально-вартісний аналіз, який проводився як для всього обчисувального модуля, так і окремо для різального пристрою, дозволив виявити недосконалі функції цього модуля зернозбирального комбайну. Недосконалими є функції обчисування на корені та зрізання обчесаних стебел, а також транспортування стеблин у зону формування валка.

На підставі результатів функціонально-вартісного аналізу запропоновані напрями досліджень з метою підвищення ефективності роботи всього зернозбирального комбайну обчисувального типу. Це і обґрунтування конструктивних параметрів обчисувальних граблін і об'єднання двох функцій обчисувального модуля, таких як функції обчисування на корені та транспортування вороху до шнеку.

Що стосується різального пристрою, так це об'єднання функцій очищення зони зрізання, переорієнтації стеблин, укладання стеблин на транспортер, при цьому слід обґрунтувати робочі органи пристрою, який виконує вказані функції. Також функціонально-вартісний аналіз дозволив встановити шляхи вдосконалення функцій як транспортування стеблин у зону формування валка, так і самого формування валка. Для цього необхідно провести дослідження з метою обґрунтування параметрів транспортуючого механізму, який дозволить підвищити якість його роботи та формувати валок з параметрами, необхідними для використання сучасної сільськогосподарської техніки.



Список використаних джерел

1. Данченко М. М., Шокарев О. М. Экономическая эффективность от внедрения в производство комбайна очесывающего типа. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Вип. 1. Т. 15. Мелітополь : ТДАТА, 2000.
2. Шокарев О. М., Данченко М. М. Технічні вимоги до різального пристрою рисозбирального комбайна очисувального типу та його польові дослідження. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Вип. 1. Т. 18. Мелітополь : ТДАТА, 2001.
3. Шокарев О. М. Збирання незернової частини врожаю комбайном очисувального типу. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Вип. 1. Т. 22. Мелітополь : ТДАТА, 2001.
4. А. С. 1601971 СССР. Режущее устройство сельскохозяйственных машин. / Шокарев А. Н. и др. *Б.И.* 1990. № 20.
5. А.С 1165278 СССР, Устройство для обмола та сельськогосподарських культур на корню. / Голубев И. К., Гончаров Б. И. *Б.И.* 1985. № 25.
6. Sheheda K., Shokarev O., Kiurchev S., Danchenko M., Mykhailova L. Results of research of combine harvester cutterbar. *Engineering for Rural Development*. Vol. 20. 2021. P. 1632–1637. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF350
7. Shokarev O., Kiurchev S., Shokarev O., Rud A., Gorbovy O. Results of experimental research in separator dielectric aspiration channel. *Engineering for Rural Development*. Vol. 20. 2021. P. 1611–1616. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF346
8. Шегеда К. О., Шокарев О. М., Шокарев О. О. Механіко-технологічні особливості взаємодії обчесаних стебел з робочими органами різального пристрою. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь : ТДАТУ, 2015. Вип. 15, т. 3. 360 с.
9. Шегеда К. О., Шокарев О. М., Данченко М. М. Кінематичний аналіз транспортуючого механізму різального пристрою комбайна обчисувального типу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенко. Технічні науки*. Вип. 156. Харків, 2015.
10. Шегеда К. О., Шокарев О. М., Шегеда А. В. Критеріальний підхід до проблеми ефективності збирання незернової частини врожаю. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Вип. 2. Т. 3. Мелітополь : ТДАТУ, 2012.
11. Різальний апарат сільськогосподарської збиральної машини. Патент України на корисну модель № 157103, опубл. 11.09.2024, бюл. № 37/2024 / Шокарев О. О., Шегеда К. О., Шокарев О. М., Кюрчев С. В., Шегеда А. В.
12. Ріжучий пристрій з активним валкоутворювачем. Патент України на корисну модель № 157108, опубл. 11.09.2024, бюл. № 37/2024 / Шокарев О. О., Шегеда К. О., Шокарев О. М., Кюрчев С. В., Данченко М. М.
13. Ріжучий пристрій сільськогосподарських машин. Патент України на корисну модель № 157088, опубл. 11.09.2024, бюл. № 37/2024 / Шокарев О. О., Шегеда К. О., Шокарев О. М., Кюрчев С. В.
14. Ріжучий пристрій сільськогосподарської збиральної машини. Патент України на корисну модель № 157084, опубл. 11.09.2024, бюл. № 37/2024 / Шокарев О. О., Шегеда К. О., Шокарев О. М., Кюрчев С. В., Шегеда А. В.

Дата першого надходження статті до видання: 28.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)





O. Shokarev, M. Danchenko, I. Kolokolchykova, O. Shokarev

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

FUNCTIONAL-COST ANALYSIS OF THE STRIPPER-CUTTING MODULE OF A GRAIN COMBINE HARVESTER

Summary

The method of stripping standing crops is among the new technologies for combine harvesting of grain. However, the main constraining factor for the wide implementation of new grain harvesting machinery remains the problem of reducing crop losses during stripping and grain harvesting, while simultaneously harvesting the stripped standing stems.

The process of stripping ears with minimal grain losses requires conducting a functional-cost analysis at the first stage of research. The research on the process of harvesting the non-grain part of the crop also begins with conducting a functional-cost analysis.

The paper presents a general methodology for conducting a functional-cost analysis, which allowed for the identification of imperfect zones in the stripper module of the grain combine harvester. The functions of stripping standing crops and cutting stripped stems, as well as transporting stems to the windrow formation zone, were found to be imperfect.

Based on the results of the functional-cost analysis, research directions are proposed to increase the efficiency of the entire stripper-type grain combine harvester. These include the substantiation of the design parameters of stripping fingers and the combination of two functions of the stripper module: the function of stripping standing crops and the function of transporting the heap to the auger.

Regarding the cutting device, this involves combining the functions of cleaning the cutting zone, reorienting the stems, and laying the stems onto the conveyor. In this context, it is necessary to substantiate the working bodies of the device performing these functions, as well as to improve the functions of transporting stems to the windrow formation zone and the windrow formation process itself.

Keywords: standing crop stripping, functional-cost analysis, stripper module, cutting device.