Розділ 2

МАШИНИ ТА РОБОЧІ ПРОЦЕСИ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 621.867.4

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЗІ ЩІТКОПОДІБНОЮ ЕЛАСТИЧНОЮ РОБОЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ

Іван Гевко, д. т. н., Андрій Станько, Андрій Пік, к. т. н., Роман Лещук, к. т. н., Олег Гурик, к. т. н.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, Україна, e-mail: gevkoivan1@ukr.net

https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.013

Гевко І., Станько А., Пік А., Лещук Р., Гурик О. Обґрунтування техніко-економічної ефективності використання гвинтових робочих органів зі щіткоподібною еластичною робочою поверхнею

Враховуючи вимогу мінімізації пошкодження під час транспортування насіннєвих зернових матеріалів, проведено техніко-економічне обґрунтування ефективності розроблених конструкцій гвинтових робочих органів з еластичними поверхнями. Встановлено, що шнекові транспортери дають пошкодження під час транспортування зерна в межах 1,2…8,6 %, а його багаторазове проходження по шнеку сприяє значному травмуванню зерна. Встановлено, що орієнтовні втрати середнього фермерського господарства в Україні за рахунок використання традиційних шнеків під час перевантаження насіннєвих зернових матеріалів становлять близько 0,7605 т за рік. Запобігти цим втратам можливо за рахунок розроблених і апробованих гвинтових робочих органів зі щіткоподібною еластичною робочою поверхнею, конструкції яких (зі щіткоподібним елементом та з кріпленням еластичних елементів на торцевій спіралі шнека) і способи їх виготовлення наведено в цій праці.

Виготовлення еластичного гвинтового робочого органа зі щіткоподібним елементом передбачає виконання такої послідовності технологічних операцій: розмітка (відповідно до прийнятого кроку) і свердління отворів по гвинтовій поверхні пустотілого вала; закріплення пустотілих циліндричних трубок в отворах по гвинтовій поверхні пустотілого вала; закріплення в пустотілих циліндричних трубках пучків еластичних щіткоподібних елементів; закріплення на торцевих поверхнях пустотілого вала цапф. Процес виготовлення шнеків з кріпленням еластичних елементів на торцевій спіралі передбачає виконання таких технологічних операцій: свердління свердлильною головкою отворів на торцевій поверхні навитої щільним пакетом на ребро спіралі; калібрування спіралі на заданий крок; жорстке закріплення спіралі із заданим кроком на поверхні пустотілого вала; механічне закріплення в отворах торцевої поверхні спіралі еластичних елементів; закріплення на торцевих поверхнях пустотілого вала цапф.

За проведеними підрахунками витрат на виготовлення еластичних поверхонь гвинтових робочих органів встановлено, що вартість виготовлення еластичного гвинтового робочого органа (довжиною L = 4 м, діаметром D = 96 мм та з кроком T = 80 мм) зі щіткоподібними елементами становить 971,03 грн, а з кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі – 880,52 грн. На підставі проведених розрахунків можна зробити висновок, що більший економічний ефект за рахунок зниження травмування зернових одержується за використання гвинтових робочих органів зі щіткоподібними елементами. Згідно з розрахунками, орієнтовний річний економічний ефект для фермерського господарства за використання гвинтових робочих органів зі щіткоподібними елементами порівняно з традиційними становить 3680,08 грн (станом на 01.2022 р.) і 3626,57 грн за використання гвинтових робочих органів із кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі. Однак, враховуючи те, що гвинтові робочі органи з кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі забезпечують значно вищу продуктивність порівняно зі шнеком із щіткоподібним елементом (в 1,34…1,5 раза), то їх застосування можна вважати більш пріоритетним.

Ключові слова: шнекові транспортери, еластична поверхня, травмування, пустотілий вал.

Hevko I., Stanko A., Pik A., Leshchuk R., Huryk O. Justification of the technical and economic efficiency of the use of screw working bodies with a brush-like elastic working surface

The effectiveness of the developed designs of helical working bodies with elastic surfaces was substantiated. Its technical and economic substantiation was carried out on the basis of the requirement to minimize damage to seed grain materials during transportation. The passage of grain through the screw conveyor causes damage in the range of 1.2...8.6 %. Its re-

peated passage of the grain through the auger contributes to a significant damage of the grain. When using traditional transshipment augers, the estimated losses of an average farm in Ukraine at the beginning of 2022 amounted to 0.7605 tons, or UAH 5.98 thousand. This paper presents the developed and tested screw working bodies with a brush-like elastic working surface. The designs of these working bodies (with a brush-like element and with the attachment of elastic elements on the end spiral of the auger) and the methods of their manufacture enable preventing these losses.
The following sequence of technological operations is provided for the production of an elastic helical working body with a brush-like element: marking (according to the adopted step) and drilling holes on the helical surface of the hollow shaft; fastening of hollow cylindrical tubes in holes along the helical surface of the hollow shaft; fixing bundles of elastic brush-like elements in hollow cylindrical tubes; fastening on the end surfaces of the hollow pin shaft. The following technological operations are provided for the production of screws with elastic elements attached to the end surface of the spiral: drilling holes with a drill head on the end surface of a dense package wound on the edge of the spiral; calibration of the spiral to a given step; rigid fixation of the spiral with a given step on the surface of the hollow shaft; mechanical fixing in the holes of the end surface of the spiral of elastic elements; fastening on the end surfaces of the hollow pin shaft.
The cost of manufacturing elastic surfaces of helical working bodies (length L = 4 m, diameter D = 96 mm and pitch T = 80 mm) with brush-like elements is UAH 971.03, and with the attachment of elastic elements on the end surface of the spiral is UAH 880.52 . Based on the calculations, it can be concluded that a greater economic effect is obtained due to the reduction of grain injury when using helical working bodies with brush-like elements. The calculations show that the annual economic effect for the farm when using screw working bodies with brush-like elements compared to traditional ones is UAH 3,680.08. (as of January 2022) and UAH 3,626.57. when using screw working bodies with fastening of elastic elements on the end surface. Since the productivity of screw working bodies with elastic elements attached to the end surface of the spiral is 1.34...1.5 times higher compared to the auger with a brush-like element, their use can be considered a higher priority.
Key words: screw conveyors, elastic surface, injury, hollow shaft.

Постановка проблеми. Через механічне пошкодження зерна під час виконання різноманітних операцій, пов'язаних зі збиранням, очисткою, сортуванням, сушінням та зберіганням, протруюванням, а також його транспортуванням, зменшується валовий збір зерна, погіршуються посівні та продуктивні його якості. При цьому під час виконання зазначених операцій практично завжди використовуються шнеки для його переміщення. А отже, запобігання механічним пошкодженням зерна є актуальним завданням сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню проблеми пошкодження зерна присвячено багато праць [1; 2; 5–16; 18–21]. Ці праці присвячені пошуку способів мінімізації пошкодження зернового матеріалу під час збирання, післязбирального обробітку, його перевантаження тощо. Учені досліджували процеси механічного пошкодження зерна в лабораторних умовах [1; 11; 15] та способи зниження його травмування технічними засобами [7; 10; 14; 16; 20] у процесі обмолоту, транспортування і післязбирального обробітку. Питанням мінімізації пошкодження зерна під час його перевантаження шнековими механізмами присвячені праці [8; 10; 13; 14; 19–21], проте, незважаючи на значну кількість виконаних наукових досліджень, проблема зменшення травмування зернового матеріалу під час його переміщення шнековими механізмами зумовлює потребу в подальшому науковому пошуку їх прогресивних конструкцій.

Постановка завдання. Враховуючи критерій мінімізації пошкодження насіннєвих зернових матеріалів під час їх транспортування, проведемо техніко-економічне обґрунтування ефективності розроблених конструкцій гвинтових робочих органів з еластичними поверхнями.

Загальноприйнято, що механічні пошкодження зерна поділяють на дві великі групи: макро- (видимі без додаткових оптично-технічних засобів) і мікропошкодження (визначені за допомогою додаткових оптично-технічних засобів – збільшувального скла чи мікроскопа) [18]. Макропошкодження – це вибитий зародок насінини або вибита 1/4 частина насіння; насіння бите або вздовж, або впоперек; насіння, яке поїли кузьки; вм'ятини в насінні [18]. До мікропошкоджень належать: насіння, пошкоджене в місці прикріплення ніжки; надрив оболонки зародка; зовнішні та внутрішні тріщини; «синці» [18]. У сухого зерна головним пошкодженням вважають тріщини, а у вологого – вм'ятини [12]. Найстійкішою до динамічних навантажень є пшениця з вологістю 18…20 %, а в разі статичного навантаження міцніше сухе зерно [9]. Ступінь травмування зернівок залежить і від їхніх розмірів – більше травмуються фракції розміром 2,6–2,8 мм [7].

За агротехнічними вимогами механічне пошкодження насіннєвого зерна не має перевищувати 1 %, проте здебільшого воно становить 2–10 % [12]. Загальні втрати з кожного гектара посіву зернових унаслідок сівби травмованим насінням становлять 2–3 ц, а загалом в Україні – щонайменше 2 млн т зерна щорічно [12].

Пошкоджується зерно під час післязбиральної обробки при очищенні та сортуванні, проте найбільше його якість знижується під час транспортування в зерносховищах [12]. За даними досліджень [12], понад 50 % від загальної кількості травмованих зернин пошкоджується під час навантажувально-розвантажувальних і транспортних операцій.

Якщо проаналізувати машини для підготовки і транспортування зерна, то зерномети травмують зерно від 11 до 17 %, зерноочисні та сортувальні машини – від 3,4 до 8,4 %, пневмотранспортери – до 7,2 %, норії – до 7,4 %, шнекові транспортери – від 4,7 до 8,6 %, скребкові транспортери – до 1,5 %, самопливні трубопроводи – до 1,6 % [12].

Щодо шнекових транспортерів, ці дані дещо відрізняються від давніших досліджень, в яких вказано, що під час транспортування насіннєвого зерна жорсткими гвинтовими конвеєрами відбувається пошкодження в межах 1,2…1,75 % [9]. За вологості зерна 12…14 % рекомендована швидкість його транспортування перебуває в межах 2,2…2,3 м/с, а за вологості 17…19 % – до 4,1 м/с [4; 9].

Дослідження О. П. Тарасенка [16] показують, що в разі збільшення довжини трубопроводу з 2 до 12 м мікротравмування зернівок зростало на 4 %, а подрібнення – на 0,12 %. Збільшення продуктивності трубопроводу від 10 до 30 т/год забезпечує зменшення травмування насіння на 11 %, а збільшення коефіцієнта заповнення від 0,3 до 0,6 дає змогу знизити травмування в 1,3 раза [16].

За дослідженнями Д. А. Дерев'янка [7], при п'ятиразовому проходженні насіння по шнеку з частотою обертання 270 об./хв його травмування зросло на 56,3 %.

Як констатують В. Л. Куликівський зі співавторами [10], при зазорі, меншому від мінімального розміру зерен, їх защемлення між шнеком і кожухом у процесі переміщення практично не спостерігалося (пошкодження зерна шнеком становило до 0,3 %), а при зазорі, більшому від трьох середніх розмірів зернини (від 12 мм і більше), на дні кожуха утворювався пасивний ледь рухомий шар матеріалу. Також цими авторами встановлено [10], що збільшення частоти обертання шнека призводить до зростання травмування за рахунок інтенсивнішого тертя зерен об поверхню; у разі збільшення кута нахилу шнека (до 20º) травмування зерен підвищується на 20…25 %.

Загалом з проведеного аналізу можна зробити висновок, що шнекові транспортери дають пошкодження під час транспотрування зерна в межах 1,2…8,6 % [9; 12], а його багаторазове проходження по шнеку сприяє значному травмуванню зерна (на 56,3 % при п'ятиразовому проходженні) [7].

Виклад основного матеріалу. Проаналізуємо закупівельні ціни на зерно станом на початок 2022 року (довоєнний період). Так, орієнтовна вартість на оптових закупівельних ринках зерна становила:

- пшениця фуражна – 9800 грн/т;
- пшениця сортова – понад 10000 грн/т;
- ячмінь фуражний – 8000…8500 грн/т;
- ячмінь сортовий – понад 8500 грн/т;
- кукурудза – від 7400 грн/т.

Вартість насіннєвих зернових є як мінімум на 50 % більшою від зазначених цін.

Враховуватимемо той факт, що фермерські господарства використовують одні й ті ж шнекові завантажувачі для транспортування різних видів зернових (горох, кукурудза, пшениця тощо), не маючи змоги забезпечити регулювання зазору між гвинтовим робочим органом та кожухом для мінімізації травмування. Тому таке пасивне регулювання зазору якраз і забезпечується еластичною периферійною частиною у гвинтових робочих органів зі щіткоподібною еластичною робочою поверхнею (рис. 1), що сприяє зменшенню травмування зерна під час перевантаження [14; 20].

Також враховуючи ті факти, що посівні площі під зернові фермерського господарства в Україні становлять 50–300 га, а загальні втрати з кожного гектара посіву зернових унаслідок сівби травмованим насінням згідно з [12] становлять 2–3 ц (приймаємо 2,5 ц), то орієнтовні втрати господарства, якщо посівні площі під пшеницю, ячмінь та кукурудзу взяти в рівних частках по 20 га, на початок 2022 р. становитимуть щонайменше 15,0 т зерна щорічно (табл. 1). З них на перевантажування традиційними шнеками (з урахуванням травмування зерна шнековими транспортерами – 4,7 % [12]) орієнтовно припадає 0,7605 т, або 5,98 тис. гривень (станом на 2021 р.).

Відомо, що, порівняно з технологічним процесом виготовлення традиційних гвинтових робочих органів, виготовлення гвинтових робочих органів зі щіткоподібною еластичною робочою поверхнею є складнішим, враховуючи особливості виготовлення останніх [17], і передбачає, окрім традиційних операцій (навивання, калібрування, зварювання), виконання додаткових, які забезпечують виготовлення на периферійній частині гвинтових робочих органів еластичної поверхні. Причому в кожному конструктивному варіанті ство-

рення на периферійній частині шнека еластичної поверхні потребує індивідуального технологічного вирішення залежно від її форми і застосовуваних матеріалів.

Розглянемо детальніше технологічні особливості виготовлення гвинтових робочих органів зі щіткоподібною еластичною робочою поверхнею. На рис. [17] наведено розроблені гвинтові робочі органи з еластичними поверхнями. Зокрема, на рис., а, в, ґ і е зображено їх конструктивні схеми, а на рис., б, г, д і є – їх загальний вигляд.

Конструктивне рішення еластичного гвинтового робочого органа зі щіткоподібним елементом представлено на рис., а та б. Воно передбачає таку послідовність технологічних операцій під час виготовлення [17]:

1. Розмітка (відповідно до прийнятого кроку) і свердління отворів 4 по гвинтовій поверхні пустотілого вала 2.

2. Закріплення пустотілих циліндричних трубок 3 в отворах 4 по гвинтовій поверхні пустотілого вала 2 (зварюванням, посадкою з натягом, паянням).

3. Закріплення в пустотілих циліндричних трубках 3 пучків еластичних щіткоподібних елементів (еластичних щіток) 5 (клеєнням).

4. Закріплення на торцевих поверхнях пустотілого вала 2 цапф (механічно, зварюванням).

За використання цієї технології можна одержати лише двозахідні еластичні гвинтові робочі органи (з подвійною спіраллю).

Отримання однозахідних чи багатозахідних шнеків можливе при кріпленні еластичних елементів на торцевій спіралі шнека (конструктивні рішення таких еластичних гвинтових робочих органів представлені на рис., в – є). Процес їх виготовлення передбачає виконання таких технологічних операцій:

1. Свердління свердлильною головкою отворів на торцевій поверхні навитої щільним пакетом на ребро спіралі 2, яка встановлена в кондуктор.

2. Калібрування спіралі 2 на заданий крок.

3. Жорстке закріплення спіралі 2 із заданим кроком на поверхні пустотілого вала 1 (зварюванням).

3. Механічне закріплення в отворах торцевої поверхні спіралі 2 еластичних елементів 3 (секційних (див. рис., в), із периферійною щіткоподібною частиною (див. рис., ґ), із суцільним камероподібним елементом (див. рис., е)).

4. Закріплення на торцевих поверхнях пустотілого вала 1 цапф (механічно, зварюванням).

Нами проведено аналіз вихідних даних до процесу виконання додаткових операцій під час виготовлення гвинтових робочих органів зі щіткоподібною еластичною робочою поверхнею, результати подано в табл. 2 (для параметрів: L = 4 м; D = 96 мм; T = 80 мм). Ці дані є порівнянними і можуть змінюватися залежно від зміни діаметрів, кроку шнеків тощо. Також слід зазначити, що під час аналізу процесу виготовлення еластичного гвинтового робочого органа з кріпленням еластичного елемента на торцевій поверхні спіралі (секційних (див. рис., в), із периферійною щіткоподібною частиною (див. рис., ґ), із суцільним камероподібним елементом (див. рис., е)) ми не розглядали індивідуальну технологію виготовлення окремих цих елементів, позаяк вона є досить подібною і передбачає операції нарізання елементів та виконання на їхніх поверхнях отворів.

Проведемо розрахунок окремих видів витрат на виконання додаткових операцій у процесах виготовлення гвинтових робочих органів зі щіткоподібним елементом та з кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі.

Витрати на заробітну плату робітника, зайнятого виконанням операцій, з урахуванням єдиного соціального внеску (0,22) визначатимуться за формулою [3]:

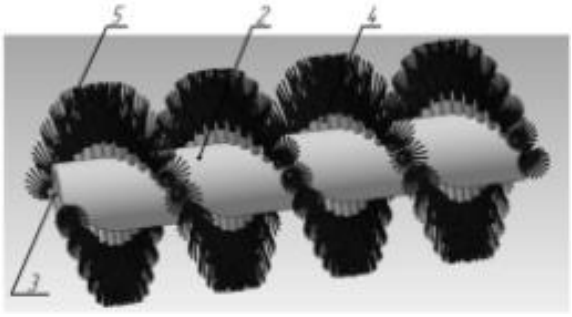
$$З = \Sigma T_i \cdot T_{c1} \cdot K_i \cdot K_н, \qquad (1)$$

де $З$ – затрати на зарплату робітника; T_i – трудомісткість i-ї операції чи переходу, год; T_{c1} – величина тарифної ставки 1-го розряду (з 01.10.2022 р. мінімальна заробітна плата становить 6700,0 грн; 6700,0 / (21 · 8) = 39,88 грн); K_i – тарифний коефіцієнт i-го розряду (K_2 = 1,09; K_4 = 1,35 [3]); $K_н$ – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок, $K_н$ = 1,22 (згідно із Законом України № 1774-VIII, ЄСВ становить 0,22 %).

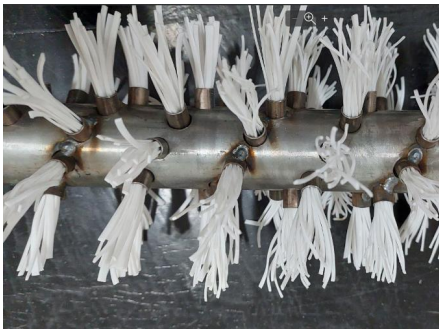
Таблиця 1. Орієнтовні втрати зернових фермерського господарства внаслідок сівби травмованим насінням (за цінами початку 2022 р.)

Table 1. Estimated losses of the agricultural society due to use of traditional transshipment augers at the prices beginning of 2022

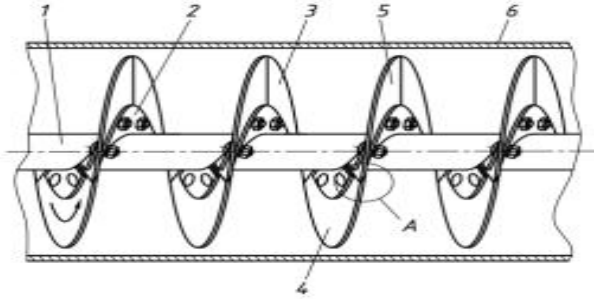
Культура	Втрати зерна в натуральному та грошовому виразі на 1 га		Річні втрати зерна фермерського господарства у натуральному та грошовому виразі	
	т	тис. грн	т	тис. грн
Пшениця	0,25	2,45	5,0	49,0
Ячмінь	0,25	2,06	5,0	41,2
Кукурудза	0,25	1,85	5,0	37,0
Разом	-	-	15,0	127,2



а)

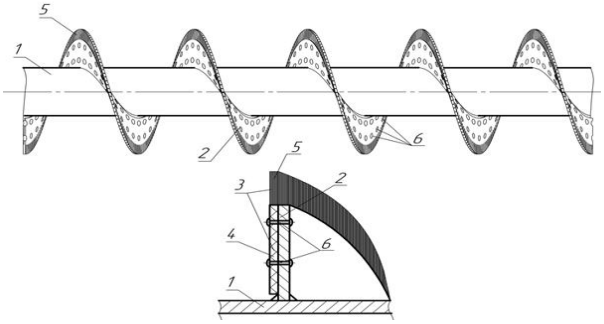


б)

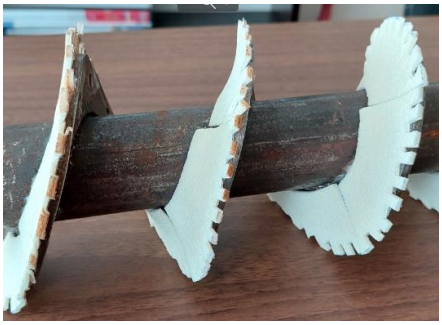


в)

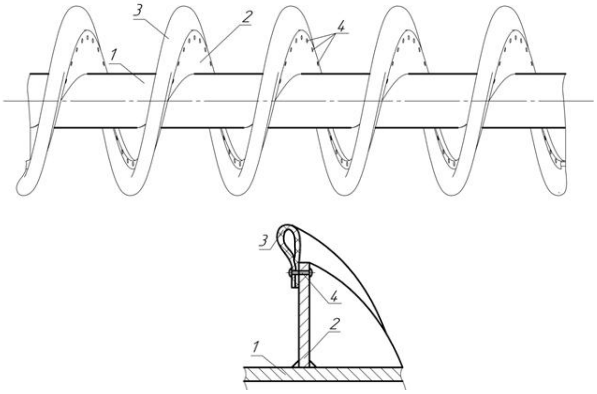
г)



ґ)



д)



е)

є)

Рис. Гвинтові робочі органи з еластичними поверхнями:
а, в, ґ, е – конструктивні схеми; б, г, д, є – загальний вигляд
Fig. Screw working bodies with elastic surfaces:
а, в, ґ, е – design schemes; б, г, д, є – general views

Таблиця 2. Вихідні дані до процесу виконання додаткових операцій під час виготовлення гвинтових робочих органів з еластичними поверхнями
Table 2. Initial data for the process of performing additional operations in the manufacture of helical working bodies with elastic surfaces

1. Операція свердління отворів у пустотілому валу	1. Операція свердління отворів на торцевій поверхні навитої щільним пакетом на ребро спіралі
- обладнання: верстат вертикально-свердлильний 2с132 (сумарна потужність електродвигунів, встановлених на верстаті, – 4,12 кВт)	- обладнання: верстат вертикально-свердлильний 2с132 (сумарна потужність електродвигунів, встановлених на верстаті, – 4,12 кВт)
- вартість обладнання (б/к) – 37 тис. грн	- вартість обладнання (б/к) – 37 тис. грн
- розряд робітника – 4	- розряд робітника – 4
- тривалість операції (5 отв. на 1 крок по 8 с) – 2000 с (0,56 год)	- тривалість операції (8 отв. по 8 с) – 64 с (0,02 год)
2. Операція закріплення пустотілих циліндричних втулок в отворах пустотілого вала	2. Операція нарізання еластичних елементів відповідної форми
- оснащення: прес гідравлічний настільний 10 т TY10003 TORIN	- інструмент: ножиці ручні гільйотинні 90/125 мм
- вартість оснащення – 16,6 тис. грн	- вартість інструменту – 1,45 тис. грн
- розряд робітника – 2	- розряд робітника – 2
- тривалість операції (250 втулок по 6 с) – 1500 с (0,42 год)	- тривалість операції (від 20 хв до 60 хв залежно від конфігурації еластичного елемента) – 2400 с (0,67 год)
3. Операція нарізання еластичних щіткоподібних елементів	3. Операція пробивання отворів в еластичних елементах
- інструмент: ножиці ручні гільйотинні 90/125 мм	- інструмент: пробійник круглих отворів TOPEX 3-12 мм
- вартість інструменту – 1,45 тис. грн	- вартість інструменту – 0,5 тис. грн
- розряд робітника – 2	- розряд робітника – 2
- тривалість операції (20 хв) – 1200 с (0,33 год)	- тривалість операції – 600 с (0,17 год)
4. Операція закріплення в пустотілих циліндричних трубках еластичних щіток	4. Операція закріплення еластичних елементів в отворах торцевої поверхні спіралі
- інструмент: кліщі затискні YATO YT-2449	- інструмент: ключ заклепувальний Montero для люверсів 11822
- вартість інструменту – 0,3 тис. грн	- вартість інструменту – 0,13 тис. грн
- розряд робітника – 2	- розряд робітника – 2
- тривалість операції (500 затисків) – 35000 с (0,97 год)	- тривалість операції (20 хв) – 1200 с (0,33 год)

Витрати на заробітну плату за додатковими операціями при виготовленні гвинтових робочих органів зі щіткоподібними елементами становитимуть:

$$З_1 = (0{,}56 \cdot 1{,}35 + (0{,}42 + 0{,}33 + 0{,}97) \cdot 1{,}09) \times \times 39{,}88 \cdot 1{,}22 = 128{,}0 \text{ грн.}$$

Витрати на заробітну плату за додатковими операціями при виготовленні гвинтових робочих органів із кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі становитимуть:

$$З_2 = (0{,}02 \cdot 1{,}35 + (0{,}67 + 0{,}17 + 0{,}33) \cdot 1{,}09) \times \times 39{,}88 \cdot 1{,}22 = 128{,}0 = 63{,}36 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при вказаних параметрах визначатимуться за формулою [3]:

$$ЕЕ = \Sigma T_i \cdot Ц_{ел.ен} \cdot В_{кгод}, \quad (2)$$

де $Ц_{ел.ен}$ – ціна 1 кВт·год електроенергії (тариф на електроенергію для непобутових споживачів з 01.10.2022 р., II клас – 491,473 коп./кВт·год); $В_{кгод}$ – приведений обсяг споживання електроенергії обладнанням при виконанні операції чи переходу, кВт/год.

Витрати на електроенергію за додатковими операціями при виготовленні гвинтових робочих органів зі щіткоподібними елементами становитимуть:

$$ЕЕ_1 = 0{,}56 \cdot 4{,}91 \cdot 4{,}12 = 11{,}33 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію за додатковими операціями при виготовленні гвинтових робочих органів із кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі становитимуть:

$$ЕЕ_2 = 0{,}02 \cdot 4{,}91 \cdot 4{,}12 = 0{,}03 \text{ грн.}$$

Затрати на амортизацію обладнання (за використання в одну зміну) при обробленні одиниці продукції визначаємо із залежності [3]:

$$А = В_о \cdot К_а \cdot \Sigma T_i / T_д, \quad (3)$$

де B_o – вартість обладнання, яке використовується в процесі, грн; K_a – коефіцієнт амортизації, 0,2; $T_д$ – дійсний час роботи обладнання протягом року в одну зміну, 2070 год.

Витрати на амортизацію обладнання за додатковими операціями при виготовленні гвинтових робочих органів зі щіткоподібними елементами становитимуть:

$$A_1 = 0{,}56 \cdot 37000 \cdot 0{,}2 / 2070 = 2{,}0 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію обладнання при виготовленні гвинтових робочих органів із кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі становитимуть:

$$A_2 = 0{,}02 \cdot 37000 \cdot 0{,}2 / 2070 = 0{,}07 \text{ грн.}$$

Провівши відповідні розрахунки за елементами витрат по додаткових операціях при виготовленні гвинтових робочих органів з еластичними поверхнями, їх результати відобразимо в табл. 3. При цьому врахуємо вартість додаткових елементів, які необхідні для створення еластичних поверхонь, а також загальновиробничі (200 % від основної заробітної плати основних робітників) та адміністративні витрати (40 % від основної заробітної плати основних робітників) [3].

Для виготовлення гвинтового робочого органа зі щіткоподібним елементом довжиною L = = 4 м з кроком T = 80 мм використовуються 250 циліндричних втулок за ціною 1,87 грн, а також еластичні щітки за ціною 0,22 грн за пучок. Для виготовлення гвинтового робочого органа з кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі вартість цих елементів із врахуванням кріпильних елементів (заклепок, гвинтів тощо) залежно від виду та якості коливатиметься від 140 до 1190 грн (приймаємо середнє значення – 665 грн).

Таблиця 3. Підрахунок витрат на виготовлення еластичних поверхонь гвинтових робочих органів
Table 3. Calculation of costs for the production of elastic surfaces of helical working bodies

Елемент витрат	Еластичний гвинтовий робочий орган зі щіткоподібними елементами, грн	Еластичний гвинтовий робочий орган з кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі, грн
Витрати на матеріали	522,5	665,0
Затрати на зарплату	128,0	63,36
Витрати на електроенергію	11,33	0,03
Витрати на амортизацію обладнання	2,0	0,07
Загальновиробничі витрати	256,0	126,72
Адміністративні витрати	51,2	25,34
Всього витрат	971,03	880,52

Проведемо підрахунок річного економічного ефекту. У підрахунках не враховуватимемо витрати на ремонт і технічне обслуговування еластичних поверхонь гвинтових робочих органів, бо на практиці випробування на довговічність розроблених нами гвинтових робочих органів з еластичними поверхнями не проводились. Загалом за рахунок зношення під час експлуатації (втоми матеріалу) еластичних поверхонь останні можуть виходити з ладу і потребувати заміни через певний час експлуатації. Проте, враховуючи не надто значні витрати на виготовлення еластичних поверхонь гвинтових робочих органів, що викладено в табл. 3 (вони значно менші за втрати фермерського господарства від використання травмованого насіннєвого зернового матеріалу), у цих розрахунках ними знехтуємо. Враховуючи те, що орієнтовні річні втрати фермерського господарства за використання традиційних перевантажувальних шнеків на початок 2022 р., за підрахунками, викладеними вище, становили 0,7605 т, або 5,98 тис. гривень (за рахунок використання для посіву травмованого насіннєвого зернового матеріалу), а також те, що травмування зернового матеріалу під час його переміщення шнеком зі щіткоподібним елементом є нижчим більше ніж у 4,5 раза за його травмування при використанні жорсткого шнека і нижчим в 4,06…4,32 раза в разі застосування еластичних гвинтових робочих органів із кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі [20], річний економічний ефект від застосування таких шнеків становитиме:

1) орієнтовний річний економічний ефект для фермерського господарства за використання гвинтових робочих органів зі щіткоподібними елементами для перевантаження насіннєвого зернового матеріалу порівняно з традиційними:

$$E_1 = 5980{,}0 \cdot (1 - 1/4{,}5) - 971{,}03 = 3680{,}08 \text{ грн;}$$

2) орієнтовний річний економічний ефект для фермерського господарства за використання

гвинтових робочих органів із кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі для перевантаження насіннєвого зернового матеріалу порівняно з традиційними:

$E_2 = 5980{,}0 \cdot (1 - 1/4{,}06) - 880{,}52 = 3626{,}57$ грн.

Висновки. Через механічне пошкодження насіннєвого зернового матеріалу під час виконання різноманітних транспортно-технологічних операцій з використанням традиційних шнеків зменшується валовий збір зерна. Тому було розроблено і випробувано гвинтові робочі органи з різноманітними еластичними поверхнями, що дало змогу значно знизити травмування зернового матеріалу (більш ніж у 4,5 раза при його переміщенні шнеком зі щіткоподібним елементом та в 4,06…4,32 раза при застосуванні еластичних гвинтових робочих органів з кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі). Це забезпечується пасивним регулюванням зазору між гвинтовим робочим органом та кожухом у шнеку при транспортуванні різних видів зернових (горох, кукурудза, пшениця тощо), що робить цей шнек з еластичними гвинтовими робочими органами доволі універсальним засобом для їх переміщення.

За проведеними підрахунками витрат на виготовлення еластичних поверхонь гвинтових робочих органів встановлено, що вартість виготовлення еластичного гвинтового робочого органа (довжиною $L = 4$ м, діаметром $D = 96$ мм та з кроком $T = 80$ мм) зі щіткоподібними елементами становить 971,03 грн, а з кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі – 880,52 грн. Виходячи з проведених розрахунків можна зробити висновок, що більший економічний ефект за рахунок зниження травмування зернових одержується за використання гвинтових робочих органів зі щіткоподібними елементами. За розрахунками, орієнтовний річний економічний ефект для фермерського господарства за використання гвинтових робочих органів зі щіткоподібними елементами порівняно з традиційними становить 3680,08 грн (станом на 01.2022 р.) і 3626,57 грн за використання гвинтових робочих органів із кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі. Однак, враховуючи те, що гвинтові робочі органи з кріпленням еластичних елементів на торцевій поверхні спіралі забезпечують значно вищу продуктивність порівняно зі шнеком зі щіткоподібним елементом (у 1,34…1,5 раза), їх застосування можна вважати більш пріоритетним.

Бібліографічний список

1. Алферов С. А., Напов А. А. Механическая повреждаемость зерна при ударе. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1981. № 3. С. 50-51.

2. Аристов С. А. Пути снижения травмирования зерна при послеуборочной обработке. *Техника в сельском хозяйстве*. 1991. № 6. С. 55-56.

3. Гевко І. Б., Оксентюк А. О., Галущак М. П. Організація виробництва: теорія і практика: підручник. Київ: Кондор, 2008. 178 с.

4. Гевко І. Б. Розробка і дослідження низькочастотних пристроїв для виконання технологічних процесів гнучкими гвинтовими конвеєрами: автореф. дис. … канд. техн. наук. Луцьк, 1997. 18 с.

5. Головач І. В., Дерев'янко Д. А., Дерев'янко О. Д. Зниження травмування насіння при застосуванні гумових матеріалів та вдосконалення очисток. *Всеукраїнський науково-технічний журнал ВНАУ*. 2016. № 3 (95). С. 26–30.

6. Грабар І. Г., Дерев'янко Д. А., Герук С. М. Правильність прийняття рішень при випробовуваннях зернових комбайнів, іншої техніки і новітніх технологій у сільськогосподарському виробництві при застосуванні розрахункових моделей для мінімального травмування зерна. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2010. Вип. 5. С. 49–53.

7. Дерев'янко Д. А. Механіко-технологічне обґрунтування процесів зниження травмування насіння зернових культур технічними засобами: дис. … д-ра техн. наук. Тернопіль, 2018. 418 с.

8. Залуцький С. З. Обґрунтування параметрів шнеків з робочою еластичною поверхнею для транспортування сільськогосподарських матеріалів: дис. … канд. техн. наук. Тернопіль, 2018. 197 с.

9. Кроп Л. И. Обработка и хранение семенного зерна. Москва: Колос, 1974. 176 с.

10. Куликівський В. Л., Палійчук В. К., Боровський В. М. Травмування зернового матеріалу гвинтовими робочими органами шнекових живильників. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Київ, 2017. Вип. 47(1). С. 124-131.

11. Мерчалова М. Э. Снижение травмирования зерна пшеницы за счет совершенствования технологического процесса его послеуборочной обработки: автореф. дис. … канд. техн. наук. Воронеж: ВГАУ, 1992. 43 с.

12. Механічне травмування зерна після збирання / В. Опалко, Р. Шатров, А. Шиш, В. Марченко. *Agroexpert*. 2017. № 2. С. 48-52.

13. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. … д-ра техн. наук. Київ, 1997. 502 с.

14. Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх досліджень / І. Б. Гевко, Т. А. Довбуш, О. П. Цьонь, А. Д. Довбуш, А. А. Станько. *Сільськогосподарські машини*. 2021. Вип. 47. С. 63-72.

15. Скрипник І. О., Пісарькова І. О., Петренко М. М. Механічне травмування насіння. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кропивницький, 2018. Вип. 48. С. 143-153.

16. Тарасенко А. П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке. Воронеж: ФГОУ ВПО ВТАУ, 2003. 331 с.

17. Технологія виготовлення еластичних шнеків / І. Б. Гевко, О. Л. Ляшук, О. П. Цьонь, А. А. Станько. *Збірник наукових праць X Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні PTME-2022»*. Івано-Франківськ; Яремче, 2022. С. 69-71.

18. Федотова М., Трушаков Д. Зерно та його травмування, або Де найбільше пошкоджено зерно. *Пропозиція*. 2020. № 7-8. С. 156-159.

19. Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface / R. B. Hevko, S. Z. Zalutskyi, I. G. Tkachenko, O. M. Klendiy. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 46, No 2. P. 133-138.

20. Installation for the investigation of screw working bodies with elastic surfaces and the results of their experimental tests / Ivan Hevko, Oleh Liashuk, Oleg Tson, Taras Dovbush, Serhii Zalutskyi, Andrii Stanko. *Scientific Journal of TNTU*. Ternopil: TNTU, 2021. Vol. 103, No 3. P. 98-109.

21. Parameter justification for interworking relationship of elastic screw operating element with grain material / R. Hevko, Y. Dzyadykevych, I. Tkachenko, S. Zalutskyi. *Вісник ТНТУ*. 2016. Т. 81, № 1. С. 70-76.

Стаття надійшла 04.09.2022

.