Механізація, електрифікація

УДК 631.358.42

© 2023

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ СИПКОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАТЕРІАЛУ ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ ЛОПАТЕВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ КОНВЕЄРА

В.В. Адамчук[1], В.М. Булгаков[2], І.В. Головач[3], О.М. Троханяк[4], З.В. Ружило[5]

[1, 2]доктори технічних наук, професори, академіки НААН
[3]доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН
[4, 5]кандидати технічних наук, доценти
[1]Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН
вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна
[2–5]Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна
[2, 3]Національна академія аграрних наук України
вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 9, м. Київ, 01010, Україна
e-mail: [1]vvadamchuk@gmail.com, [2]vbulgakov@meta.ua, [3]holovach.iv@gmail.com, [4]klendii_o@ukr.net, [5]ruzhylo@nubip.edu.ua
ORCID: [1]0000-0003-0358-7946, [2]0000-0003-3445-3721, [3]0000-0003-1387-4789, [4]0000-0002-4671-5824, [5]0000-0003-3582-8687

Надійшла 18.11.2023

Мета. *Підвищити ефективність функціонування конвеєра за рахунок рішень, отриманих у результаті досліджень травмування сипких сільськогосподарських матеріалів під час їх транспортування спеціально розробленим лопатевим робочим органом.* **Методи.** *Експериментальні дослідження з визначення ступеня травмування сипкого сільськогосподарського матеріалу проводили на сучасному обладнанні з використанням методів планування багатофакторного експерименту. Для обробки отриманих результатів застосовували методи теорії ймовірностей, математичної статистики та регресійного аналізу; зокрема, статистичні розрахунки були проведені згідно із розробленою авторами програмою у середовищі STATISTICA.* **Результати.** *Виготовлено експериментальну установку для дослідження конвеєра із лопатевим робочим органом, що дасть змогу підвищити функціональні та експлуатаційні характеристики транспортерів. Запропонована конструкція лопатевого робочого органу забезпечує його стабільні типорозміри за нижчої*

собівартості та простішої технології виготовлення, а також можливість зменшити ступінь пошкодження зернових матеріалів під час транспортування. Багатофакторний експеримент з визначення ступеня травмування сипкого сільськогосподарського матеріалу лопатевим робочим органом конвеєра здійснювали за використання змінних факторів як от: діаметр труби D, коефіцієнт ψ завантаження конвеєра та частота n обертання лопатевого робочого органу. За результатами експериментальних досліджень побудовано відповідні рівняння регресії та поверхні відгуку для встановлення впливу на травмування сипкого матеріалу зазначених вище факторів. Отримані рівняння регресії можна буде використовувати для визначення ступеня T травмування зерна під час транспортування конвеєром з лопатевим робочим органом. **Висновки.** ***Розроблено методику експериментальних досліджень процесу травмування сипкого сільськогосподарського матеріалу під час його транспортування лопатевим робочим органом конвеєра. Встановлено, що основним фактором, який призводить до збільшення травмування зерна, є $x_3(n)$ — частота обертання лопатевого робочого органу. Збільшення значень факторів x_1 (D) та x_2 (ψ) сприяє зменшенню ступеня травмування зерна. Раціональне значення частоти обертання лопатевого робочого органу перебуває в межах $100 \le n \le 500$ (об·хв$^{-1}$). Аналіз результатів порівняльних експериментальних досліджень з визначення ступеня травмування зернового матеріалу під час транспортування гвинтовим та лопатевим робочим органами за різних значень коефіцієнта ψ завантаження транспортера залежно від частоти n обертання робочого органу і діаметра D напрямної труби показав, що лопатевий шнек забезпечує істотне зменшення травмування зернового матеріалу.***

Ключові слова: *транспортування, сипкий сільськогосподарський матеріал, лопатевий робочий орган, дослідження.*

DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202312-09

Постановка проблеми. Технологічні процеси виробництва сільськогосподарської продукції передбачають виконання великої кількості трудомістких завантажувально-розвантажувальних та транспортних операцій. Йдеться в першу чергу про перевантаження та транспортування зернових культур, насіннєвих матеріалів, гранульованих мінеральних добрив.

Зерно є одним із найважливіших ресурсів, що формує продовольчу безпеку держави. Воно слугує сировиною для виробництва великої кількості харчових продуктів. Однією з основних причин отримання неякісного зернового матеріалу слід вважати його травмованість внаслідок інтенсивного впливу робочих органів машин і механізмів через відсутність сучасних технічних засобів. Для транспортування зернових, насіннєвих матеріалів, гранульованих мінеральних добрив, які при переміщенні зазнають значних пошкоджень, зазвичай застосовуються конвеєри зі шнековими робочими органами. Основними причинами травмування сільськогосподарських матеріалів є попадання їх частинок у зазор між обертовим робочим органом конвеєра і нерухомою внутрішньою поверхнею напрямної труби. Існуючі конструкції робочих органів гвинтових конвеєрів не повною мірою задовольняють функціональні вимоги щодо запобігання пошкодженню зернових матеріалів.

Загалом конструкції гвинтових конвеєрів із робочими органами круглого поперечного перерізу виготовляють із термічно оброблених високовуглецевих сталей [1–3]. Вони мають низьку продуктивність, оскільки круглий переріз спіралі не забезпечує зосередженої

напрямної сили в осьовому напрямку під час транспортування матеріалу.

Смугові спіралі характеризуються значно вищою продуктивністю, однак вони мають невелику довговічність, оскільки низьковуглецеві сталі, що застосовуються для їх виготовлення, швидко руйнуються в процесі роботи за малих радіусів кривизни, внаслідок виникнення знакозмінних напружень під час обертання [4–6].

Тому актуальним є завдання розробити нову конструкцію робочих органів транспортерів, які відзначатимуться простою технологією виготовлення та забезпечуватимуть можливість транспортування сипких сільськогосподарських матеріалів за їх мінімального травмування.

Мета досліджень — підвищити ефективність функціонування конвеєра за рахунок рішень, отриманих у результаті досліджень травмування сипких сільськогосподарських матеріалів під час їх транспортування спеціально розробленим лопатевим робочим органом.

Матеріали і методи досліджень. Експериментальні дослідження з визначення ступеня травмування сипкого сільськогосподарського матеріалу проводили на сучасному обладнанні з використанням методів планування багатофакторного експерименту. Для обробки отриманих результатів застосовували методи теорії ймовірностей, математичної статистики та регресійного аналізу; зокрема, статистичні розрахунки були проведені згідно із розробленою авторами програмою у середовищі STATISTICA.

Результати досліджень. Розроблено експериментальний стенд для дослідження конвеєра із лопатевим робочим органом, схема якого подана на рис. 1. Стенд складається з рами 10, на якій розташований конвеєр, що містить напрямну трубу 7 із лопатевим робочим органом 6. З боку завантаження матеріалу встановлено бункер 5, а в зоні його вивантаження — вікно з регульованою заслінкою 9 та гальма вала шнека 8. Привод робочого органу здійснюється від електродвигуна 3 через запобіжну муфту 4. Для запуску двигуна і регулювання частоти його обертання використовували перетворювач частоти 2 (Altivar 71) з програмним забезпеченням Power Suite v.2.5.0. Система Altivar 71 приєднана до мережі та комп'ютера 1.

Щоб задати необхідну частоту обертання лопатевого робочого органу за допомогою комп'ютера, необхідно через систему Altivar 71 передати команду на електродвигун, і він через запобіжну муфту почне обертати вал лопатевого робочого органу зі встановленими параметрами.

Для проведення експерименту сипкий матеріал завантажують у бункер, а далі за певної частоти обертання робочого органу і заданих параметрів транспортують у зону вивантаження в мірну посудину.

Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження конвеєра та

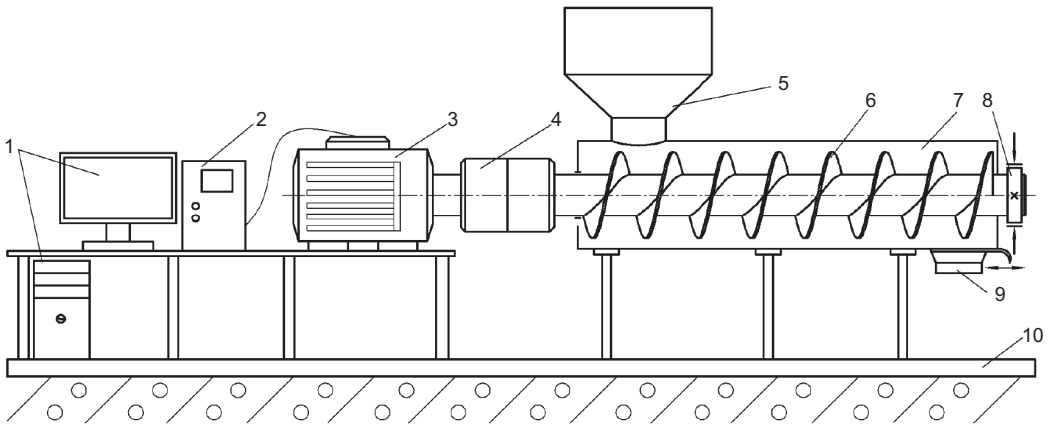


Рис 1. Конструктивна схема експериментальної установки для дослідження конвеєра із лопатевим робочим органом

а *б*

Рис 2. Загальний вигляд експериментальної установки (а) та елемент робочого органу (б) лопатевого конвеєра

розробленого лопатевого робочого органу подано на рис. 2.

Лопатки для робочого органу конвеєра доцільно виготовляти методом штампування листового матеріалу з подальшим приварюванням їх до циліндричного вала. Встановлено, що краще застосовувати плоскі лопатки із дзеркальним відображенням відносно вертикалі в межах від 0 до 90° (повний діапазон 180°), оскільки сектори лопаток з кутовим кроком до 20° використовувати нераціонально як з погляду їх виготовлення (велика кількість), так і з погляду їх складання [7].

Для визначення ступеня травмування сипкого сільськогосподарського матеріалу (зерна) під час його транспортування розробленим лопатевим робочим органом конвеєра в мірну посудину, яка, з огляду на геометричні параметри зерна, вміщувала близько 100 зернин, перед переміщенням попередньо відбирали три проби зерна. Далі визначали кількість травмованих зернин і встановлювали відсоток пошкодженого зернового матеріалу перед його транспортуванням. Зерна з вибитим зародком не враховували — зважали лише на подрібнені зерна. За різницею кількості пошкоджених зернин до і після транспортування визначали ступінь травмування зернового матеріалу залежно від змінних конструктивно-кінематичних параметрів лопатевого робочого органу конвеєра. Зменшення травмування зерна під час транспортування гвинтовими конвеєрами є одним із основних завдань при проєктуванні таких конструкцій.

Щоб отримати порівняльний показник (ступінь) травмування матеріалу, знаходили відношення маси пошкодженого зерна до маси проби, користуючись формулою:

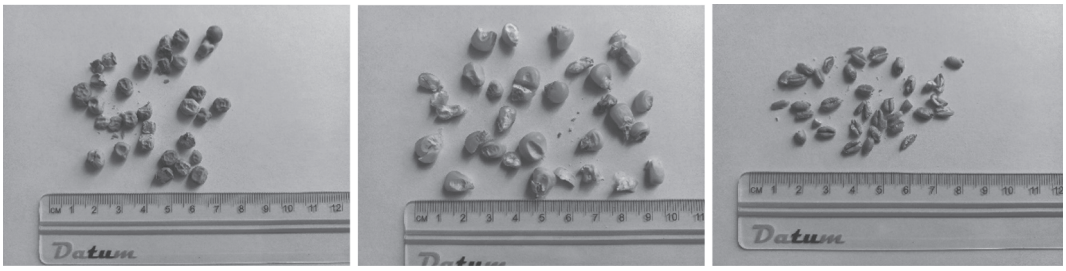
$$П_{зм} = \frac{m_1 - m_2}{m_п} \cdot 100, \qquad (1)$$

де m_1 — маса травмованого зерна після транспортування конвеєром, кг; m_2 — маса травмованого зерна до транспортування, кг; $m_п$ — загальна маса проби, кг.

До числа травмованих відносили зерна, що мали такі пошкодження: роздроблений зародок, пошкоджений зародок, пошкоджена оболонка зерна, пошкоджений ендосперм, пошкоджена оболонка ендосперму, побите зерно, механічно стиснуте зерно. Травмовані зерна досліджуваних матеріалів показано на рис. 3.

Як бачимо із наведених на рис. 3 фотографій, характерними пошкодженнями всіх сипких сільськогосподарських культур є розколювання зернин на дрібніші частини (найбільш явно це прослідковується на зернинах кукурудзи), а також дуже дрібних частин, які відокремлені від суцільних зернин.

Під час проведення багатофакторного експерименту з визначення ступеня травмування зернового матеріалу розробленим лопатевим робочим органом змінними факторами були: діаметр труби D, коефіцієнт ψ завантаження конвеєра та частота n обертання лопатевого робочого органу.



а *б* *в*

Рис. 3. Загальний вигляд зернин із пошкодженнями: а — горох; б — кукурудза; в — пшениця

Оскільки змінні незалежні фактори під час проведення експериментів неоднорідні та мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів, — різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків, що потребує переходу від дійсних значень факторів, які використовують при проведенні експериментів, до їх кодованих значень. Вказаний перехід з позначенням інтервалів варіювання та рівнів варіювання кодованих та дійсних значень наведено в табл. 1.

Відібрані для лабораторного експериментального дослідження сипкі сільськогосподарські матеріали мали таку об'ємну масу: горох — 700 кг·м$^{-3}$; пшениця — 760 кг·м$^{-3}$; кукурудза — 800 кг·м$^{-3}$. Вологість W становила 12–15%.

Результати експерименту обробляли за загальновідомими методиками та методами математичної статистики з використанням кореляційного та регресійного аналізу для отримання в підсумку емпіричних рівнянь регресії [8, 9]. Для побудови регресійної моделі параметра оптимізації вибирали певний план багатофакторного експерименту й реалізували його в описаній далі послідовності.

Визначену експериментальним методом функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто ступінь травмування зерна $T = f(D, \psi, n)$, подавали у вигляді математичної моделі повного квадратичного полінома [8, 9]:

$$T = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (2)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ — коефіцієнти відповідних значень x_i; x_1, x_2, x_3 — відповідні кодовані фактори.

Значення коефіцієнтів рівнянь регресії подано в табл. 2.

Рівняння регресії ступеня травмування зерна різних культур під час транспортування конвеєром з лопатевим робочим органом залежно від діаметра труби D, коефіцієнта ψ завантаження конвеєра та частоти n обертання лопатевого робочого органу, тобто $T_{(x_1,x_2,x_3)} = f(D, \psi, n)$, за результатами проведених повнофакторних експериментів 3^3 у кодованих величинах матимуть такий вигляд:

• у разі транспортування гороху —

$$T_{(x_1,x_2,x_3)} = 0,36 - 0,028x_1 - 0,024x_2 + 0,092x_3 + 0x_1x_2 - 0,002x_1x_3 + 0x_2x_3 - 0,004x_1^2 + 0,006x_2^2 - 0,004x_3^2; \quad (3)$$

1. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання під час дослідження травмування зернового матеріалу

Фактор	Позначення		Інтервал варіювання	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	кодовані	натуральні				
Внутрішній діаметр труби D, м	X_1	x_1	0,02	0,06/–1	0,08/0	0,1/+1
Коефіцієнт ψ завантаження конвеєра	X_2	x_2	0,2	0,3/–1	0,5/0	0,7/+1
Частота n обертання лопатевого робочого органу, об·хв$^{-1}$	X_3	x_3	200	200/–1	400/0	600/+1

2. Значення коефіцієнтів рівнянь регресії

Матеріал	Коефіцієнт									
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Горох	0,36	−0,028	−0,024	0,092	0	−0,002	0	−0,004	0,006	−0,004
Кукурудза	0,318	−0,022	−0,026	0,085	0	−0,0022	0	−0,0036	0,0054	−0,0036
Пшениця	0,27	−0,025	−0,026	0,075	0	−0,002	0	−0,0032	0,0048	−0,0032

• у разі транспортування кукурудзи —

$$T_{(x_1,x_2,x_3)} = 0,318 - 0,022x_1 - 0,026x_2 + 0,085x_3 + 0x_1x_2 - 0,0022x_1x_3 + 0x_2x_3 - 0,0036x_1^2 + 0,0054x_2^2 - 0,0036x_3^2; \quad (4)$$

• у разі транспортування пшениці —

$$T_{(x_1,x_2,x_3)} = 0,27 - 0,025x_1 - 0,026x_2 + 0,075x_3 + 0x_1x_2 - 0,002x_1x_3 + 0x_2x_3 - 0,0032x_1^2 + 0,0048x_2^2 - 0,0032x_3^2, \quad (5)$$

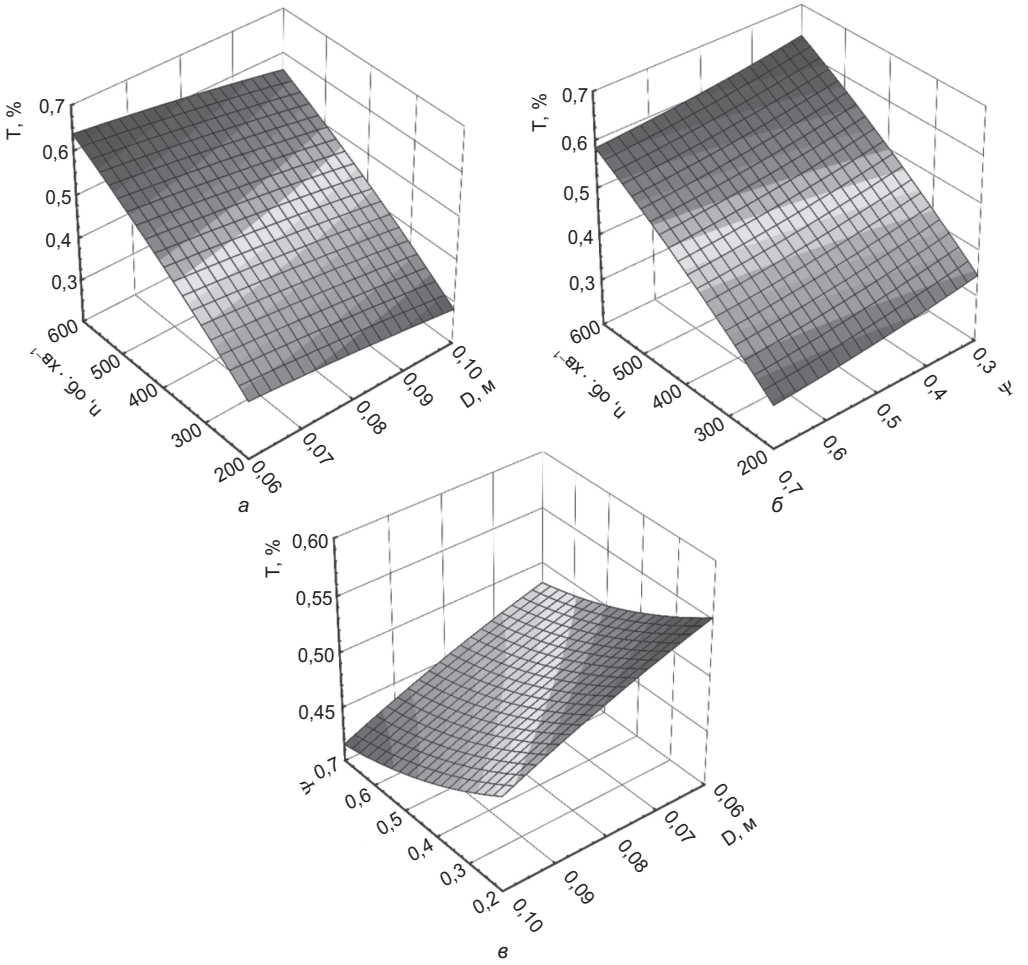


Рис. 4. Поверхня відгуку ступеня травмування зерна гороху залежно від: а — T = f(D; n); б — T = f(n; ψ); в — T = f(ψ; D)

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії та перевірку адекватності (відповідності) отриманого теоретичного розподілу випадкових величин рівнянь регресії реальному експериментальному процесу проводили згідно з методикою [9]. У натуральних величинах (координатах) рівняння регресії (3–5) після перетворення та спрощення виразів набули такого вигляду:

• у разі транспортування гороху —

$$T_{(D,\psi,n)} = 0,252 + 0,511D - 0,275\psi + 0,0011n - 0,0014Dn - 10D^2 + 0,15\psi^2 - 0,00000033n^2; \quad (6)$$

• у разі транспортування кукурудзи —

$$T_{(D,\psi,n)} = 0,228 + 0,475D - 0,25\psi + 0,00101n - 0,001023Dn - 9D^2 + 0,135\psi^2 - 0,000000297n^2; \quad (7)$$

• у разі транспортування пшениці —

$$T_{(D,\psi,n)} = 0,203 + 0,389D - 0,22\psi + 0,000903n - 0,00099Dn - 8D^2 + 0,12\psi^2 - 0,000000264n^2. \quad (8)$$

Рівняння (6–8) можуть бути використані для визначення ступеня травмування зерна під час транспортування гороху, кукурудзи,

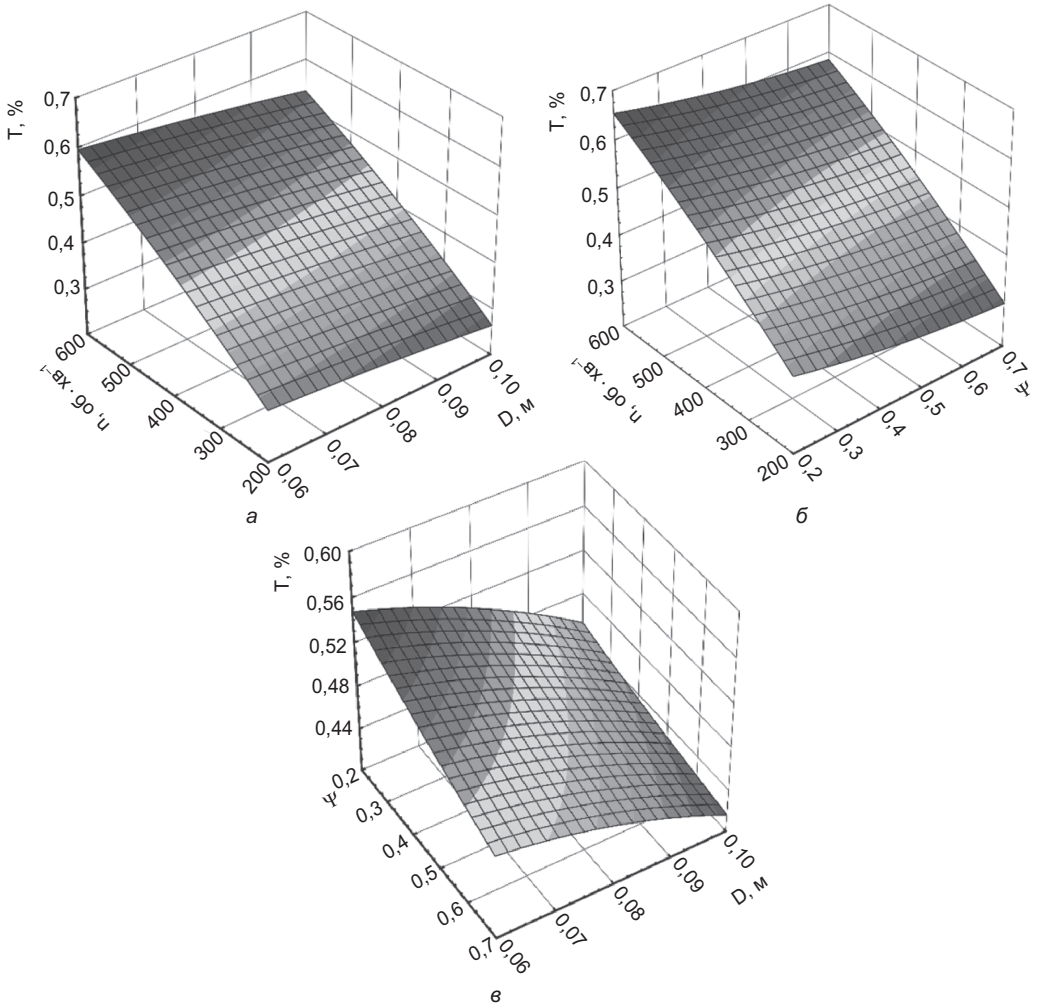


Рис. 5. Поверхня відгуку ступеня травмування зерна кукурудзи залежно від: а — T = f(D; n); б — T = f(n; ψ); в — T = f(ψ; D)

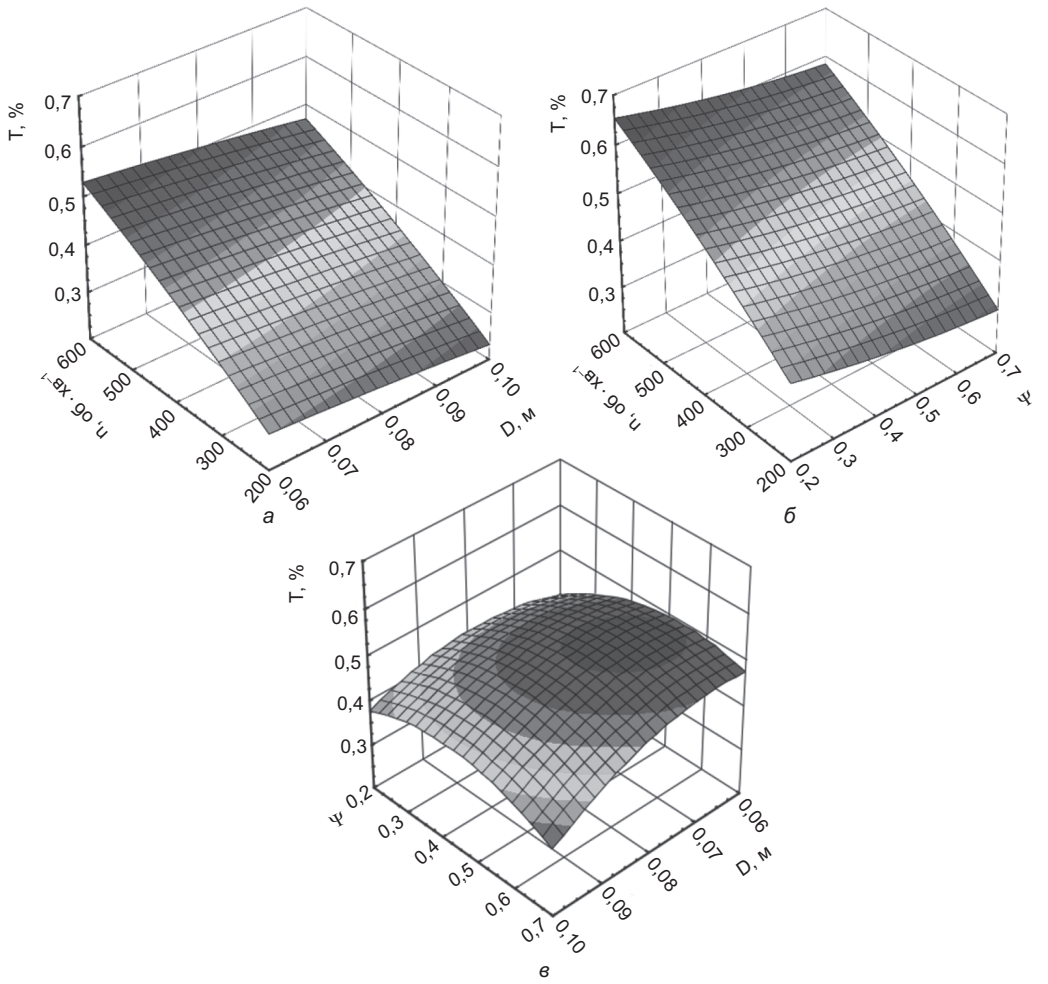


Рис. 6. Поверхня відгуку величини травмування зерна пшениці залежно від: а — T = f(D; n); б — T = f(n; ψ); в — T = f(ψ; D)

пшениці у таких межах зміни вхідних факторів: 0,06 ≤ D ≤ 0,1 (м); 0,3≤ ψ ≤ 0,7; 100 ≤ ≤ n ≤ 500 (об·хв$^{-1}$).

За допомогою прикладної програми були побудовані квадратичні поверхні відгуку та їх двовимірні перерізи ступеня травмування зерна T як функції від двох змінних факторів $x_{i(1,2)}$ за постійного незмінного рівня відповідного третього фактора $x_{i(3)}$ = const (рис. 4–6).

Аналіз наведених регресійних залежностей свідчить про те, що основним фактором, який збільшує ступінь травмування зерна, є x_3 (n) — частота обертання лопатевого робочого органу. Збільшення величин факторів x_1 (D) та x_2 (ψ) сприяє зменшенню ступеня травмування зерна. Раціональне значення частоти обертання лопатевого робочого органу — 100 ≤ n ≤ 500 (об·хв$^{-1}$).

У разі зміни діаметра напрямної труби D в діапазоні 0,06–0,10 м травмування зернового матеріалу зменшується на 12–13,5%, у разі зміни частоти n обертання лопатевого робочого органу у діапазоні 200–600 об·хв$^{-1}$ травмування зерна збільшується на 48–50%, а в діапазоні зміни коефіцієнта ψ завантаження транспортера від 0,3 до 0,7 — зменшується на 10%.

Результати порівняльних експериментальних досліджень з визначення ступеня травмування зернового матеріалу під час

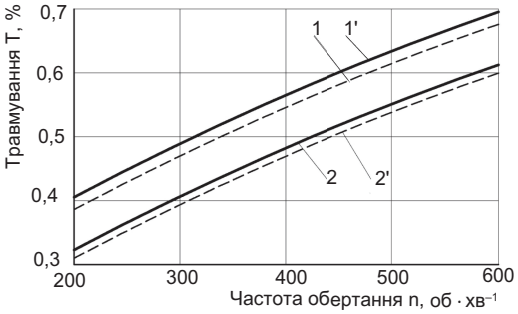


Рис. 7. Ступінь травмування зернового матеріалу Т, %, гвинтовим робочим органом (суцільна лінія) та лопатевим (штрихова лінія) за різних коефіцієнтів ψ завантаження транспортера залежно від частоти його обертання n: ψ = 0,3 (1); 0,5 (2); D = 0,08 м

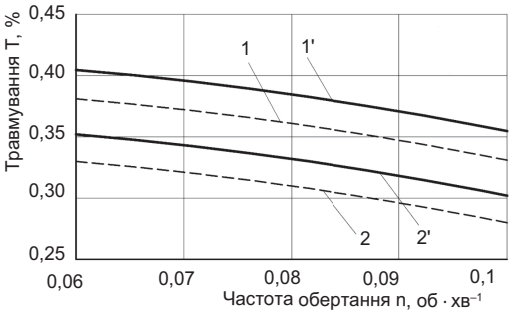


Рис. 8. Ступінь травмування зернового матеріалу Т, %, гвинтовим робочим органом (суцільна лінія) та лопатевим (штрихова лінія) за різних коефіцієнтів ψ завантаження транспортера залежно від діаметра напрямної труби D: ψ = 0,3 (1); 0,5 (2); n = 200 об · хв⁻¹

його транспортування гвинтовим робочим органом (суцільна лінія), а також лопатевим робочим органом (штрихова лінія) за різних значень коефіцієнта ψ завантаження транспортера залежно від частоти обертання n і діаметра напрямної труби D відповідно подано на рис. 7 і 8.

Аналіз поданих на рис. 7 і 8 графічних залежностей показав, що застосування лопатевого робочого органу суттєво зменшує травмування зернового матеріалу порівняно з гвинтовим. Так, за частоти обертання лопатевого робочого органу 200–600 об·хв$^{-1}$ травмування зернового матеріалу зменшується в 1,07–1,1 раза. А зміна діаметра напрямної труби D в межах 0,06–0,1 м зменшує травмування зернового матеріалу у разі застосування лопатевого робочого органу в 1,04–1,07 раза.

Отже, замість гвинтових спіралей краще застосовувати плоскі похилі до осі обертання лопатки, прикріплені до циліндричного вала основи. Такі лопатки рекомендується виготовляти методом штампування листового матеріалу з подальшим приварюванням до циліндричного вала.

Висновки

Розроблено методику експериментальних досліджень процесу травмування сипкого сільськогосподарського матеріалу під час його транспортування лопатевим робочим органом конвеєра. За результатами досліджень побудовано відповідні рівняння регресії та поверхні відгуку для визначення впливу на травмування матеріалів керованих факторів. Установлено, що основним фактором, який збільшує величину травмування зерна, є $x_3(n)$ — частота обертання лопатевого робочого органу. Збільшення величин факторів x_1 (D) та $x_2(\psi)$ сприяє зменшенню травмування зерна. Раціональне значення частоти обертання лопатевого робочого органу перебуває в межах $100 \le n \le 500$ (об·хв$^{-1}$).

Аналіз результатів порівняльних експериментальних досліджень з визначення ступеня травмування зернового матеріалу у разі його транспортування гвинтовим робочим органом та лопатевим робочим органом за різних коефіцієнтів ψ завантаження транспортера залежно від частоти обертання n і діаметра напрямної труби D показав, що використання лопатевого шнека сприяє зменшенню травмування зернового матеріалу.

Отже, запропонована конструкція лопатевого робочого органу забезпечує його стабільні типорозміри за нижчої собівартості та простішої технології виготовлення, а також зменшення травмування сипких сільськогосподарських матеріалів під час транспортування.

Adamchuk V.[1], Bulgakov V.[2], Holovach I.[3], Trokhaniak O.[4], Ruzhylo Z.[5]

[1]Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production of NAAS, 11 Vokzalna Str., Glevakh village, Fastiv district, Kyiv region, 08631, Ukraine; [2–5]National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine; e-mail: [1]vvadamchuk@gmail.com, [2]vbulgakov@meta.ua, [3]holovach.iv@gmail.com, [4]klendii_o@ukr.net, [5]ruzhylo@nubip.edu.ua; ORCID: [1]0000-0003-0358-7946, [2]0000-0003-3445-3721, [3]0000-0003-1387-4789, [4]0000-0002-4671-5824, [5]0000-0003-3582-8687

Study of injury of loose agricultural material during transportation by the bladed working body of the conveyor

Goal. To increase the efficiency of the conveyor operation due to research on the injury of loose agricultural materials during their transportation by the developed bladed working body. **Methods.** The methods of probability theory, mathematical statistics and regression analysis were used for research. Experimental studies of injury to loose agricultural material were determined depending on the diameter of the guide pipe, the loading factor of the conveyor and the rotation frequency of the working body. Processing of the obtained results and their graphical interpretation was performed on a PC using the developed program in the STATISTICA environment. **Results.** An experimental installation for the study of a conveyor with a bladed working body, which will improve the functional and operational characteristics of conveyors, has been developed and manufactured. The proposed design of the bladed working body provides stable standard dimensions of the working body at a low cost and a simpler manufacturing technology, and also carries out the process of transporting grain materials with less damage to them. When conducting a multifactorial experiment to determine the injury of loose agricultural material by the bladed working body of the conveyor, the variable factors were: the diameter of the pipe D, the loading factor of the conveyor ψ and the rotation frequency of the bladed working body n. Based on the results of experimental studies, appropriate regression equations and response surfaces were constructed to establish the influence of controlled factors on the injury of grain materials. Based on the results of experimental studies, appropriate regression equations and response surfaces were constructed to establish the influence of controlled factors on the trauma of loose material. The obtained regression equation can be used to determine the injury of grain T during transportation by a conveyor with a bladed working body. **Conclusions.** A method of conducting experimental studies of injury to loose agricultural material during its transportation by the bladed working body of the conveyor has been developed. Based on the results of experimental studies, appropriate regression equations and response surfaces were constructed to establish the influence of controlled factors on the injury of grain materials. It was established that the main factor affecting the increase in grain damage is the x_3 (n) factor, the frequency of rotation of the bladed working body. An increase in the values of the factors x_1 (D) and x_2 (ψ) leads to a decrease in the amount of grain injury. Therefore, the rational value of the frequency is the frequency of rotation of the blade working body within $100 < n < 500$ (rpm). The analysis of the results of comparative experimental studies on determining the degree of injury to grain material during its transportation by a screw working body and a bladed working body at different values of the conveyor loading factor ψ from the rotation frequency n and the diameter of the guide pipe D showed that the blade auger provides a reduction in grain material injury. Thus, the proposed design of the bladed working body provides stable standard dimensions of the working body at a low cost and a simpler manufacturing technology, and also carries out the process of transporting loose agricultural materials with less injury to them.

Key words: *transportation, loose agricultural material, bladed working body, research.*

DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202312-09

Бібліографія

1. *Гевко Р.Б., Рогатинський Р.М., Розум Р.І.* та ін. Підвищення технологічного рівня процесів завантаження та перевантаження матеріалів у гвинтових конвеєрах: монографія. Тернопіль: Осадца Ю.В., 2018. 180 с.

2. *Bulgakov V., Adamchuk V., Nadykto V.* et al. Experimental study of the transportation process bulk materials of agro-industrial production by pneumatic auger conveyor. *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*. 2023. V. 69. Is. 3. P. 76–78.

3. *Панченко А.Н.* Повышение работоспособности бункеров послойного распределения сыпучих связных материалов сельскохозяйственных и мелиоративных машин. Днепропетровск: Днепропетр. гос. агр. ун-т, 1995. 52 с.

4. *Гевко Р.Б., Клендій О.М.* Методика проведення досліджень шнекового транспортера із

запобіжним пристроєм. *Сільськогосподарські машини*: зб. наук. статей. Вип. 24. Луцьк: ЛНТУ, 2013. С. 67–75.

5. *Hevko R.B., Zalutskyi S.Z., Tkachenko I.G., Klendiy O.M.* Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface. INMATEH: *Agricultural engineering*. 2015. V. 46. N 2. P. 133–138.

6. *Hevko R.B., Rozum R.I., Klendiy O.M.* Development of design and investigation of operation processes of loading pipes of screw conveyors. *INMATEH: Agricultural engineering*. 2016. V. 50. N 3. P. 89–96.

7. *Hevko R.B., Klendiy M.B., Klendii O.M.* Investigation of a transfer branch of a flexible screw conveyer. *INMATEH: Agricultural Engineering*. 2016. V. 48. N 1. P. 29–34.

8. *Надикто В.Т.* Основи наукових досліджень. Херсон: Олді–плюс, 2017. 268 с.

9. *Душинський В.В.* Основи наукових досліджень. Теорія і практикум з програмним забезпеченням. Київ: НТУУ КПІ, 1998. 408 с.