

Залуцький С.З.<sup>1</sup>,  
Гевко Р.Б.<sup>2</sup>,  
Гладь Ю.Б.<sup>1</sup>,  
Ткаченко І.Г.<sup>1</sup>,  
Клендій О.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Тернопільський національний  
технічний університет  
імені Івана Пулюя,  
м. Тернопіль, Україна;

<sup>2</sup>Тернопільський національний  
економічний університет,  
м. Тернопіль, Україна;

<sup>3</sup>Відокремлений підрозділ  
Національного університету  
біоресурсів і природокористування  
України «Бережанський агротехнічний  
інститут»,

м. Бережани, Україна

E-mail: klendii\_o@ukr.net

## РУХ ПОТОКУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ПО ПОВЕРХНІ ШНЕКА З ЕЛАСТИЧНИМИ СЕКЦІЯМИ, ЩО ПЕРЕКРИВАЮТЬСЯ МІЖ СОБОЮ

УДК 631.358.42

*У статті представлено нову конструкцію шнека з секційною еластичною поверхнею, яка призначена для зменшення ступеня пошкодження зернового матеріалу при його транспортуванні. Проведено теоретичний розрахунок взаємодії зернин з еластичною поверхнею шнека, секції якої встановлені з перекриттям країв, для забезпечення гарантованого руху потоку в зону вивантаження. Встановлено вплив різних факторів на час та шлях вільного переміщення частинок матеріалу до контакту з наступною секцією, а також виключення можливості взаємодії зернового матеріалу з неробочою поверхнею шнекового робочого органу, для зниження пошкодження зернин.*

***Ключові слова:** секційний шнек, еластична секція, лабораторні дослідження, експериментальна установка*

**Вступ.** Проблема зниження пошкодження зернових матеріалів при їх транспортуванні шнековими робочими органами, незважаючи на значну кількість досліджень, які пов'язані з визначенням оптимальних параметрів гвинтових робочих органів є не повністю вирішеною. Суттєвого зниження пошкодження сільськогосподарських матеріалів при їх транспортуванні можна досягнути шляхом застосування еластичних поверхонь робочих органів, параметри яких мінімізують пошкодження та енергоємність технологічного процесу, але, при цьому, забезпечують необхідну продуктивність.

Вирішенню даних питань, а саме розробці енергоощадних конструкцій гвинтових робочих органів та вибору їх раціональних параметрів і режимів роботи присвячені праці [1 – 10].

Результати досліджень контактної взаємодії зерна з робочими поверхнями, а також напрямки підвищення ресурсу роботи гвинтових транспортерів викладено в роботах [11, 12].

В науковій літературі та патентах на винаходи дедалі частіше зустрічаються конструктивні рішення, які спрямовані на більш кардинальне вирішення даних проблемних питань, в першу чергу за рахунок застосування на робочих поверхнях еластичних елементів. Теоретичні дослідження в даному напрямі наведено в роботах [13, 14].

**Постановка проблеми.** Для вирішення питань, які пов'язані з пошкодженням сипких матеріалів розроблена нова конструкція шнека з секційною еластичною гвинтовою поверхнею та проведено теоретичне обґрунтування впливу конструктивних, технологічних і кінематичних параметрів на характер руху потоку сипкого матеріалу, що дасть

можливість визначити раціональні параметри та режими роботи запропонованої конструкції гвинтового робочого органу.

**Результати дослідження.** Враховуючи технологію виготовлення еластичних секцій (лопатей) та їх кріплення до жорсткої основи шнека досить складно забезпечити беззазорний контакт торців сусідніх секцій між собою, а за умови їх прогинання – це взагалі неможливо. У випадку виникнення зазорів туди можуть потрапляти частинки матеріалу, що може призводити до різностороннього зміщення сусідніх еластичних секцій, а це, в свою чергу, спричинятиме створення перешкод для руху потоку, підвищені пошкодження частинок матеріалу та енерговитрати процесу.

Для усунення виникнення радіальних зазорів між сусідніми еластичними секціями запропоновано розташовувати їх краї з перекриттям, що дозволить потоку сипкого матеріалу плавно переходити з однієї еластичної секції на іншу.

Загальний вигляд розташування країв сусідніх еластичних секцій, які кріпляться до жорсткої основи шнека зображено на рис. 1.

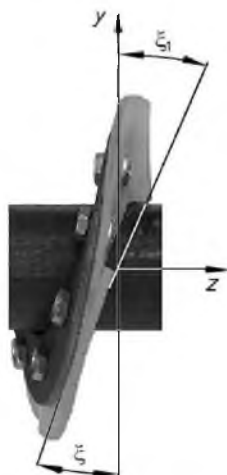


Рис. 1 – Загальний вигляд розташування країв сусідніх еластичних секцій

На рис. 1 позначено:  $\xi$  – кут підйому гвинтової поверхні основи шнека;  $\xi_1$  – кут нахилу краю зовнішньої секції.

Величина перекриття між краями сусідніх секцій а також числові значення вищезгаданих кутів визначаються конструктивно і можуть бути вибрані в залежності від умов транспортування.

Метою проведення теоретичних досліджень є визначення траєкторії руху потоку сипкого матеріалу після його сходження із виступу еластичної секції в залежності від конструктивних і кінематичних параметрів робочого органу, а також встановлення умов для подальшого руху потоку сипкого матеріалу при його потраплянні на наступну еластичну секцію.

Дані дослідження необхідні для того, щоб виключити можливість ударної взаємодії потоку сипкого матеріалу, після його сходження з краю секції, із жорсткою основою шнека, що може призводити до його підвищеного травмування.

Ґрунтуючись на попередніх дослідженнях, проаналізуємо рух потоку сипкого матеріалу при наявності виступів на гвинтовій поверхні, які утворюються перекриттям країв сусідніх еластичних секцій (рис. 2).

На рис. 2 прийнято такі позначення:  $h$  – висота розташування кінця зовнішньої лопаті над нижньою;  $R_k$  – радіус кожуха;  $N_1$  – реакція шнека на вантаж;  $F_1$  – сила тертя від реакції  $N_1$ ;  $N_2$  – реакція кожуха на вантаж;  $F_2$  – сила тертя від реакції  $N_2$ ;  $\mu_1$  – коефіцієнт тертя вантажу по поверхні шнека;  $\mu_2$  – коефіцієнт тертя вантажу по поверхні кожуха;  $\chi$  – кут напрямку руху частинки вантажу відносно кожуха;  $\psi$  – кутове положення

частинки вантажу в її обертовому русі;  $z$  – поздовжня координата частинки вздовж осі кожуха.

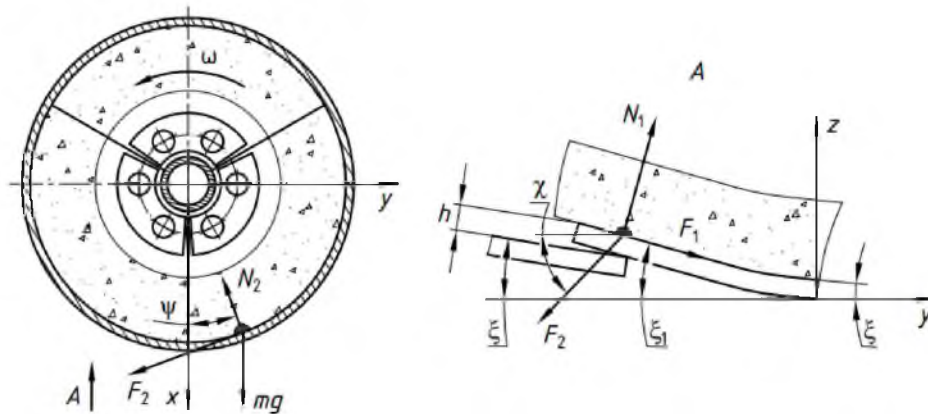


Рис. 2 – Зусилля, що діють на елементарну частинку потоку сипкого вантажу

Виділимо елементарну ділянку сипкого матеріалу, яка одночасно дотикається до кожуха та шнека. Встановимо зусилля, що діють на цю ділянку, і на їх основі складемо рівняння її руху. З боку кожуха на елементарну частинку потоку діє реакція, яка є перпендикулярною до його поверхні  $N_2$ , та сила тертя  $F_2$ , що направлена в сторону, протилежну до напрямку переміщення частинки відносно кожуха. Реакція з боку кожуха визначається векторною сумою зусиль від сили ваги частинки потоку матеріалу та доцентрової сили, яка виникає при обертовому русі. На частинку також діє реакція від поверхні лопаті шнека  $N_1$ , яка направлена перпендикулярно до поверхні шнека в точці контакту та відповідна їй сила тертя  $F_1$ , що діє у напрямку, протилежному до переміщення потоку відносно шнека, тобто по дотичній до ребра шнека.

Рівняння руху окремої частинки вантажу з масою  $m$ , яка транспортується горизонтальним шнеком, можна записати у вигляді системи рівнянь [15]

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = N_1 \cos \xi - F_1 \sin \xi - F_2 \sin \chi ; \quad (1)$$

$$m R_{\kappa} \frac{d^2 \theta}{dt^2} = N_1 \sin \xi + F_1 \cos \xi - F_2 \cos \chi ; \quad (2)$$

$$N_2 = mg \cos \psi + m R_{\kappa} \left( \frac{d\psi}{dt} \right)^2 ; \quad (3)$$

$$F_1 = \mu_1 N_1 ; \quad (4)$$

$$F_2 = \mu_2 N_2 . \quad (5)$$

Між напрямками руху частинки та геометрією шнека, при його обертанні із кутовою швидкістю  $\omega$ , можна записати такі геометричні залежності

$$\operatorname{tg} \chi = \frac{\dot{z}}{R_{\kappa} \dot{\psi}} ; \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{\dot{z}}{R_{\kappa} (\omega - \dot{\psi})} . \quad (7)$$

Для розв'язку системи рівнянь (1) – (7) застосуємо перетворення та підстановки, щоб позбутись невідомого зусилля  $N_1$  і виразити всі параметри через величину кута  $\psi$ . Спочатку система зведеться до такої

$$m \ddot{z} = N_1 (\cos \xi - \mu_1 \sin \xi) - \mu_2 (mg \cos \psi + m R_{\kappa} \dot{\psi}^2) \sin \chi ; \quad (8)$$

$$mR_k \ddot{\theta} = N_1 (\sin \xi + \mu_1 \cos \xi) - \mu_2 (mg \cos \psi + mR_k \dot{\psi}^2) \cos \chi. \quad (9)$$

Диференціальне рівняння руху частинки матеріалу для змінної  $\psi$  в кінцевому вигляді запишеться

$$\ddot{\psi} + \dot{\psi}^2 A + B \cos \psi = 0. \quad (10)$$

У цьому рівнянні коефіцієнти  $A$  і  $B$  визначаються за такими залежностями

$$A = \mu_2 [\cos(\chi + \xi) - \mu_1 \sin(\chi + \xi)]; \quad (11)$$

$$B = \frac{\mu_2 g}{R_k} [\cos(\chi + \xi) - \mu_1 \sin(\chi + \xi)] \cos \xi. \quad (12)$$

Під час руху потоку сипкого матеріалу необхідно, щоб доцентрова сила була більшою від сили ваги. В іншому випадку частинки потоку не будуть перебувати у безвідривному русі, а матиме місце їх пересипання та перемішування, що значно спотворить картину потокового транспортування. Це досягається за умови

$$\dot{\psi} > \sqrt{\frac{g}{R_k}}. \quad (13)$$

Рівняння (10) є нелінійним диференціальним рівнянням другого порядку, аналітичний розв'язок якого є неможливим, а тому застосуємо числовий метод інтегрування таких рівнянь, а саме метод Рунге-Кутта.

Важливим моментом руху є відрив частинки потоку матеріалу від виступу зовнішньої лопаті та вільний рух потоку по поверхні кожуха до момента контакту із наступною лопаттю шнека.

Відрив частинки потоку від поверхні лопаті відбувається під кутом  $\xi_1 > \xi$ , який визначається геометрією взаємного розташування сусідніх лопатей, що зображено на рис. 1. При цьому швидкість потоку матеріалу відносно поверхні шнека, внаслідок його нерозривності при невеликій зміні кута  $\xi_1$ , залишається сталою. Значення лінійної швидкості відносного руху  $V$  потоку матеріалу визначається із кінематичної залежності

$$V \sin \xi = \dot{z}. \quad (14)$$

Відповідно, при зміні кута сходження потоку з виступу

$$V \sin \xi_1 = \dot{z}_1. \quad (15)$$

Отже, величини швидкостей руху потоку при сходженні з виступу, із врахуванням (6), (7) та (14), (15), обчислюватимуться за формулами

$$\dot{z}_1 = \dot{z} \frac{\sin \xi_1}{\sin \xi}; \quad (16)$$

$$\dot{\psi}_1 = \dot{\psi} \frac{\cos \xi_1}{\cos \xi} + \omega \left( 1 - \frac{\cos \xi_1}{\cos \xi} \right). \quad (17)$$

Вільний рух частинки по поверхні кожуха у випадку відриву від лопаті запишеться у вигляді двох диференціальних рівнянь другого порядку

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -F_2 \sin \chi; \quad (18)$$

$$mR_k \frac{d^2 \psi}{dt^2} = -F_2 \cos \chi - mg \sin \psi, \quad (19)$$

з початковими умовами на початок відриву

$$\dot{z}(0) = \dot{z}_1, \quad z(0) = z_1 + h,$$

де  $h$  – величина виступу краю зовнішньої секції над поверхнею внутрішньої.

$$\begin{aligned} \dot{\psi}(0) &= \dot{\psi}_1; \\ \psi(0) &= \psi_1; \\ \operatorname{tg} \chi &= \frac{\dot{z}_1}{R_k \dot{\psi}_1}. \end{aligned} \quad (20)$$

Після перетворення отримаємо

$$m\ddot{z} = -\mu_2 (mg \cos \psi + mR\dot{\psi}^2) \sin \chi; \quad (21)$$

$$mR_k \ddot{\psi} = -\mu_2 (mg \cos \psi + mR_k \dot{\psi}^2) \cos \chi - mg \sin \psi. \quad (22)$$

Вільний рух потоку матеріалу триватиме до моменту контакту із однією з наступних лопатей шнека. Для обчислення моменту та місця контакту вважатимемо, що подальша частина шнекової поверхні є суцільною без виступів.

Умова вільного руху частинки потоку по кожуху шнека описується нерівністю

$$R_k \omega t \operatorname{tg} \xi < z + R_k \psi \operatorname{tg} \xi, \quad (23)$$

де у правій частині записано вираз для підйому гвинтової поверхні шнека при його обертотому русі, у лівій частині – сумарне переміщення частинки потоку у напрямках вздовж осі  $z$  шнека та в напрямку обертотому руху.

Поки справджується нерівність, до тих пір частинка матеріалу не дотикається до поверхні шнека, знаходячись у вільному русі. Величини  $z$  і  $\psi$  знаходяться із розв'язку системи рівнянь (21), (22) з відповідними початковими умовами (20).

З нерівності (23) при розв'язку системи рівнянь руху на кожному кроці визначається виконання вказаної умови, час припинення вільного руху частинки  $t_2$ , а також величина осьового переміщення частинки потоку  $z_2$ .

При цьому, важливо визначити величину кута відносного повороту шнека та частинки потоку  $\varphi_2$  до моменту їх наступного контакту в момент часу  $t_2$ . Його значення визначається за формулою

$$\varphi_2 = \frac{z_2}{R_k \operatorname{tg} \xi}. \quad (24)$$

Для аналізу отриманої розрахункової моделі було розроблено програму на мові Delphi, за допомогою якої визначено числові характеристики та побудовано графіки залежності параметрів вільного руху потоку від зміни основних коефіцієнтів математичної моделі. Метою аналізу було виявлення якісного впливу параметрів математичної моделі на вільний рух потоку сипкого матеріалу. Під час розрахунку прийняті усереднені числові значення коефіцієнтів математичної моделі, що подані у табл. 1.

Таблиця 1

Усереднені числові значення коефіцієнтів математичної моделі

Назва параметру	Позначення	Значення
Радіус кожуха, мм	$R_k$	50
Коефіцієнт тертя вантажу по поверхні шнека	$\mu_1$	0,5
Коефіцієнт тертя вантажу по поверхні кожуха	$\mu_2$	0,5
Кут підйому гвинтової поверхні основи шнека, град	$\xi$	20
Кут нахилу краю зовнішньої еластичної секції, град	$\xi_1$	30
Висота розташування кінця зовнішньої лопаті над нижньою, мм	$h$	2

Результати моделювання зображені на рис. 3 – 8. На кожному із графіків на осі абсцис позначено вплив якого із параметрів було змодельовано. При цьому, на осях ординат вказано час  $t_n$  та шлях  $l_n$  вільного переміщення частинки матеріалу до її контакту з наступною секцією.

З аналізу рис. 3 видно, що збільшення кута підйому гвинтової поверхні основи шнека  $\xi$  призводить до зменшення пройденого шляху  $l_n$  та, відповідно, часу  $t_n$  вільного переміщення частинок до контакту з наступною секцією внаслідок зменшення швидкості потоку сипкого матеріалу відносно поверхні шнека, що впливає із аналізу залежності (7). Так, збільшення величини  $\xi$  від  $10^\circ$  до  $30^\circ$  призводить до зменшення шляху  $l_n$  у 4,2 рази, а часу  $t_n$  у 3,1 рази.

На рис. 4 представлені графічні залежності  $t_n$  та  $l_n$  від коефіцієнту тертя сипкого матеріалу по еластичних секціях шнека  $\mu_1$ .

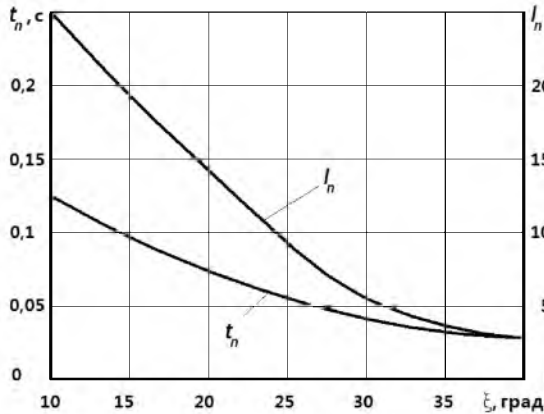


Рис. 3 – Залежності  $t_n$  та  $l_n$  від кута  $\xi$  підйому гвинтової поверхні основи шнека

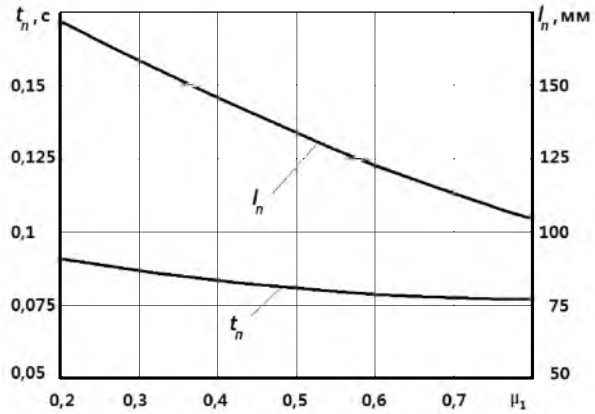


Рис. 4 – Залежності  $t_n$  та  $l_n$  від коефіцієнту тертя  $\mu_1$  матеріалу по еластичних секціях шнека

Аналогічно, як і в попередньому випадку зростання величини  $\mu_1$  призводить до падіння значень  $t_n$  і  $l_n$ . Так, збільшення величини коефіцієнта тертя  $\mu_1$  від 0,2 до 0,8 призводить до зменшення шляху  $l_n$  у 1,6 рази, а часу  $t_n$  в 1,09 рази.

На рис. 5 представлені графічні залежності  $t_n$  та  $l_n$  від коефіцієнту тертя сипкого матеріалу по внутрішній поверхні кожуха  $\mu_2$ .

Аналіз даних графічних залежностей показує, що тенденція зменшення величин  $t_n$  і  $l_n$  при зростанні коефіцієнта тертя  $\mu_2$  зберігається аналогічно до попереднього випадку, однак інтенсивність його впливу є значно вищою. Збільшення коефіцієнта тертя  $\mu_2$  від 0,2 до 0,8 призводить до зменшення шляху  $l_n$  у 2,1 рази, а часу  $t_n$  в 1,5 рази.

Наступні параметри мають зворотній вплив на характер зміни значень  $t_n$  та  $l_n$ .

На рис. 6 представлені графічні залежності  $t_n$  та  $l_n$  від частоти обертання гвинтового робочого органу  $n$ .

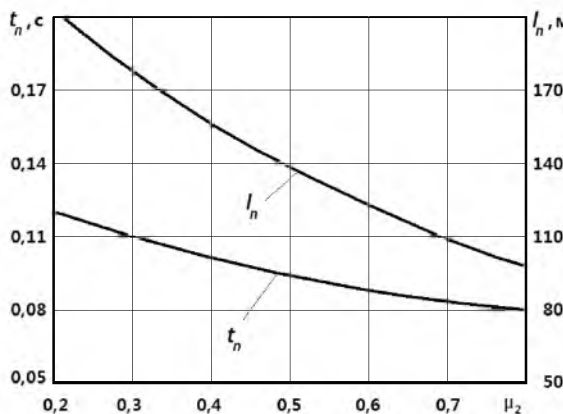


Рис. 5 – Залежності  $t_n$  та  $l_n$  від коефіцієнту тертя  $\mu_2$  матеріалу по поверхні кожуха

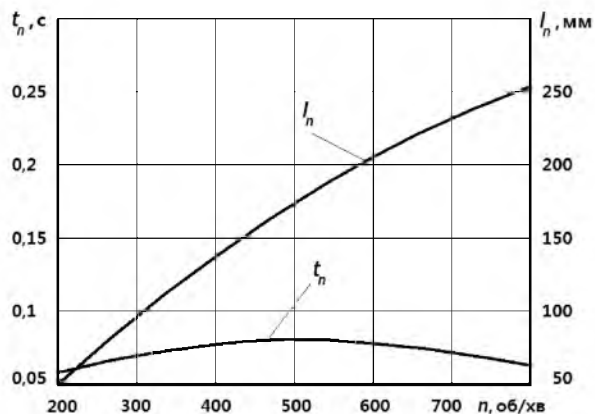


Рис. 6 – Залежності  $t_n$  та  $l_n$  від частоти обертання  $n$  гвинтового робочого органу

Зростання частоти обертання  $n$  призводить до суттєвого збільшення величини  $l_n$  за рахунок збільшення швидкості сходження частинки з краю зовнішньої лопаті.

Так, зростання величини  $n$  від 200 до 800 об/хв призводить до збільшення значення  $l_n$  приблизно у 5 разів.

При цьому, час  $t_n$  суттєво не змінюється, що пояснюється збільшенням кутової швидкості обертання шнека, а тому наступна секція встигає приблизно за той самий час наздогнати частинки потоку.

На рис. 7 представлені графічні залежності  $t_n$  та  $l_n$  від висоти  $h$  розташування кінця зовнішньої лопаті над нижньою.

Встановлено, що даний параметр несуттєво впливає на вільний рух потоку, однак збільшення величини  $h$  спричиняє зростання значень  $t_n$  та  $l_n$ . Фактично різниця в часі пропорційна часу обертання шнека на величину  $h$ . Так, зростання величини  $h$  від 0,5 до 0,35 мм призводить до збільшення  $l_n$  в 1,24 рази, а  $t_n$  в 1,14 рази.

На рис. 8 представлені графічні залежності  $t_n$  та  $l_n$  від кута сходження матеріалу, який визначається кутом нахилу краю зовнішньої секції  $\xi_1$ .

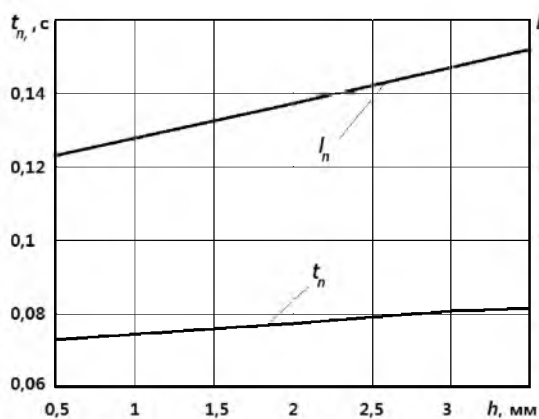


Рис. 7 – Залежності  $t_n$  та  $l_n$  від висоти  $h$  розташування кінця зовнішньої лопаті над нижньою

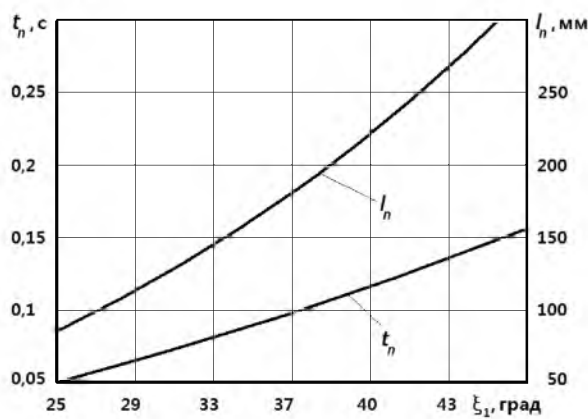


Рис. 8 – Залежності часу  $t_n$  та  $l_n$  від кута  $\xi_1$  нахилу краю зовнішньої секції

На противагу до попередньому випадку, зміна кута  $\xi_1$  нахилу краю зовнішньої секції суттєво впливає на значення  $t_n$  та  $l_n$ . Так, зростання величини кута  $\xi_1$  від  $25^\circ$  до  $45^\circ$  призводить до збільшення шляху  $l_n$  у 3,53 рази, а часу  $t_n$  у 3,16 рази.

Аналіз графіків, зображених на рис.3 – 8 дає можливість оцінити вплив кожного з параметрів системи на поведінку потоку сипкого матеріалу при його проходженні через перешкоду у вигляді сходінки між пластинами шнека.

#### Висновки:

1. На основі виведених аналітичних залежностей та їх аналізу встановлено, що збільшення сил тертя як по поверхні шнека  $\mu_1$ , так і по поверхні кожуха  $\mu_2$ , призводить до зменшення часу  $t_n$  та шляху  $l_n$ . Це пояснюється гальмуванням руху частинок та меншою початковою відносною швидкістю їх сходження із зовнішньої лопаті.

2. Збільшення кута  $\xi$  підйому основи шнека призводить до зменшення  $l_n$  та  $t_n$  внаслідок зменшення швидкості потоку сипкого матеріалу відносно поверхні шнека.

3. Зростання частоти обертання  $n$  робочого органу призводить до суттєвого збільшення  $l_n$  за рахунок зростання швидкості її сходження з краю зовнішньої лопаті.

4. Встановлено, що збільшення величини  $h$  розташування кінця зовнішньої лопаті над нижньою несуттєво впливає на вільний рух потоку матеріалу.

5. Зміна кута  $\xi_1$  нахилу краю зовнішньої секції суттєво впливає на значення  $t_n$  та  $l_n$ . Зростання величини  $\xi_1$  від  $25^\circ$  до  $45^\circ$  призводить до збільшення  $l_n$  у 3,53 рази, а  $t_n$  у 3,16 рази.

6. Проведений аналіз дає можливість оцінити вплив кожного із зазначених параметрів системи на поведінку потоку сипкого матеріалу при його проходженні через зону перекриття країв сусідніх секцій.

### Література

1. Гевко Р.Б. Підвищення технічного рівня гнучких гвинтових конвеєрів : монографія / Р.Б. Гевко, А.О. Вітровий, А.І. Пік. – Тернопіль : Астон, 2012. – 204 с.
2. Гевко Р.Б. Підвищення технологічного рівня процесів завантаження та перевантаження матеріалів у гвинтових конвеєрах : монографія / Р.Б. Гевко, Р.М. Рогатинський, Р.І. Розум, М.Б. Клендій та ін. – Тернопіль: Осадца Ю.В., 2018. – 180 с.
3. Nevko R., Vitrovyi A., Klendii O., Liubezna I., (2017) – Design engineering and substantiation of the parameters of sectional tools of flexible screw conveyers, Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Vol. 10 (59), pp. 39-46, Brasov, Romania.
4. Гевко Р.Б. Динамічний розрахунок запобіжного пристрою шнекового транспортера / Р.Б. Гевко, Ю.Б. Гладь, М.І. Шинкарик, О.М. Клендій // Вісник Інженерної академії України. – К. : – 2014. – № 3-4. – С. 46-52.
5. Lech M. (2001) – Mass flow rate measurement in vertical pneumatic conveying of solid, Powder Technology, vol.114, Issues 1–3, pp. 55-58.
6. Nevko R.B., Rozum R.I., Klendiy O.M. (2016) – Development of design and investigation of operation processes of loading pipes of screw conveyors, INMATEH: Agricultural engineering, vol.50, no.3, pp. 89-94, Bucharest, Romania.
7. Nevko R.B., Klendiy M.B., Klendiy O.M. (2016) – Investigation of a transfer branch of a flexible screw conveyor, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 48, no. 1, pp. 29-34, Bucharest, Romania.
8. Lyashuk O.L., Rogatynska O.R., Serilko D.L. (2015) - Modeling of the vertical screw conveyor loading, INMATEH: Agricultural Engineering, vol. 45, no.1, pp. 87-94, Bucharest, Romania.
9. Nevko B.M., Nevko R.B., Klendii O.M., Buriak M.V., Dzyadykevych Y.V., Rozum R.I., (2018), Improvement of machine safety devices. Acta Polytechnica, Journal of Advanced Engineering, Vol.58, no.1, pp. 17-25, Prague / Czech Republic.
10. Бойко А.І. Дослідження контактної взаємодії зерна в зазорі “виток-кожук” шнекових живильників зерноочисних машин / А.І. Бойко, В.Л. Куликівський // Науковий вісник НУБіПУ. – К. : Ред-вид. відділ НУБіПУ, 2011. – Вип. 166. Техніка та енергетика АПК. – С. 267-274.
11. Куликівський В.Л. Розробка гвинтових транспортерів з підвищеним ресурсом для зерноочисних машин. Дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – 152 с.
12. Nevko R.B. Parameter justification for interworking relationship of elastic screw operating element with grain material / R.B. Nevko, Y.V. Dzyadykevych, I.G. Tkachenko, S.Z. Zalutskyi // Вісник ТНТУ, – Тернопіль : ТНТУ, 2016 – Том 81. – № 1. – С. 77-87.
13. Nevko R.B., Zalutskyi S.Z., Tkachenko I.G., Klendiy O.M. (2015) – Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface, INMATEH: Agricultural engineering, vol.46, no.2, pp. 33-138, Bucharest, Romania.
14. Гевко Р.Б. Розробка конструкції шнека з еластичною гвинтовою поверхнею та результати її експериментальних досліджень / Р.Б. Гевко, С.З. Залуцький // Вісник інженерної академії України. – К. : 2015. – № 1. – С. 242-247.
15. Гевко М.Р. Обґрунтування параметрів секційних гвинтових конвеєрів для транспортування сипких сільськогосподарських матеріалів: Дис. канд...техн. наук: 05.05.11. – Тернопіль : ТНТУ, 2013. – 151 с.



## Summary

**Zalutskyi S.Z., Hevko R.B., Hladio Y.B., Tkachenko I.G., Klendii O.M.** Cohesive product flow through conveying screw surface with overlapping elastic sections

*Despite the considerable amount of research related to determining optimal parameters of screw operation, the problem of reducing the damage to grain materials during their transportation by screw working bodies is not completely solved. Significant reduction of damage to agricultural production materials can be achieved by applying elastic interaction of elements working surfaces of the product transportation options, which minimize damage to them but at the same time, provide the necessary performance of the process and minimize energy costs.*

*To solve problems related to damage to agricultural production materials, a new design of a screw with a sectional elastic screw surface has been developed. The influence of constructive, technological and kinematic parameters on the nature of the movement of the ear of bulk material flow has been theoretically substantiated. Therefore, based on the analysis, the rational parameters of working bodies and operating modes of the screw working body can be determined.*

*The article presents a new conveying screw model with a sectional elastic surface designed to reduce the damage degree to grains during transportation. The work carries out the theoretical calculation of grains interaction with the screw elastic surface, which sections are installed with overlapping edges, in order to ensure the guaranteed flow into a loading zone. The influence of various factors on the time and the path of free movement of material particles to the contact with the next section is established, as well as the impossibility of grains to interact with a nonoperating surface of the screw working part, which can lead to seeds damage.*

**Keywords:** section conveying screw, elastic section, laboratory research, experimental installation

## References

1. Hevko R.B. Pidvyshchennia tehnicnoho rivnia hnychkyh hvyntovyh konveieriv: monografia / R.B. Hevko, A.O. Vitrovyi, A.I. Pik. – Ternopil: Aston, 2012. – 204 p.
2. Hevko R.B. Pidvyshchennia tehnicnoho rivnia protsesiv zavantazhennia ta perevantazhennia materialiv v hvyntovyh konveierah: monografia / R.B. Hevko, R.M. Rohatynskyi, R.I. Rozum, M.B. Klendii i in. – Ternopil: Osadtsa Y.V., 2018. – 180 p.
3. Hevko R., Vitrovyi A., Klendii O., Liubezna I., (2017) – Design engineering and substantiation of the parameters of sectional tools of flexible screw conveyers, Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Vol. 10 (59), pp. 39-46, Brasov, Romania.
4. Hevko R.B. Dunamichni rozrahunok zapobizhnoho prystroyu shnekovoho transportera / R.B. Hevko, Y.B. Hladio, M.I. Shynkaryk, O.M. Klendii // Visnyk Inzhenernoi Akademii. – Kyiv: 2014. – № 3-4. – pp. 46-52.
5. Lech M. (2001) - Mass flow rate measurement in vertical pneumatic conveying of solid, Powder Technology, vol.114, Issues 1–3, pp. 55-58.
6. Hevko R.B., Rozum R.I., Klendii O.M. (2016) – Development of design and investigation of operation processes of loading pipes of screw conveyers, INMATEH: Agricultural engineering, vol.50, no.3, pp. 89-94, Bucharest, Romania.
7. Hevko R.B., Klendii M.B., Klendii O.M. (2016) – Investigation of a transfer branch of a flexible screw conveyor, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 48, no. 1, pp. 29-34, Bucharest, Romania.
8. Lyashuk O.L., Rogatynska O.R., Serilko D.L. (2015) - Modeling of the vertical screw conveyor loading, INMATEH: Agricultural Engineering, vol. 45, no. 1, pp. 87-94, Bucharest, Romania.

9. Hevko B.M., Hevko R.B., Klendii O.M., Buriak M.V., Dzyadykevych Y.V., Rozum R.I., (2018), Improvement of machine safety devices. Acta Polytechnica, Journal of Advanced Engineering, Vol.58, no.1, pp. 17-25, Prague / Czech Republic.
10. Boiko A.I. Doslidzennia kontaktnoi vzaiemodii zerna v zazori "vytok-kozhuh" shnekovyh zhyvlynykiv zernoochysnyh mashyn / A.I. Boiko, V.L. Kulykivskyi // Naukovyi visnyk NUBiPU. – K.: Rd.-Vyd. Viddil NUBiPU., 2011. – Vyp.166: Tehnika ta energetyka APK. – pp. 267-274.
11. Kulykivskyi V.L. Rozrobka hvyntovyh transporteriv z pidvyshchennym resyrsom dlia zernoochysnyh mashyn. Dys. cand. tehn. nauk: 05.05.11. – Vinnytsa: VNAU, 2012. – 152 p.
12. Hevko R.B. Parameter justification for interworking relationship of elastic screw operating element with grain material / R.B. Hevko, Y.V. Dzyadykevych, I.G. Tkachenko, S.Z. Zalutskyi // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, 2016. – Vol. 81. – № 1. – pp. 77-87.
13. Hevko R.B., Zalutskyi S.Z., Tkachenko I.G., Klendiy O.M. (2015) – Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 46, no. 2, pp. 33-138, Bucharest, Romania.
14. Hevko R.B. Rozrobka konstrukttsii shneca z elastychnoi hvyntovoi poverhneyu ta rezyltaty ii eksperymentalnyh doslidzhen / P.B. Hevko, S.Z. Zalutsryi // Visnyk Inzhenernoї Akademii. – Kyiv: 2015. – № 1. – P. 242-247.
15. Hevko M.R. Obgruntuvannia parametriv sektsiinyh hvyntovyh konveieriv dlia transportuvannia sypkyh silskohospodarskyh materialiv: Dys. kand...tehn. nauk: 05.05.11. – Ternopil: TNTU, 2013. – 151 p.