

УДК 631.358.42

¹Р.Б. Гевко, д.т.н., професор
²С.З. Залуцький, інженер
¹Б.В. Погріщук, д.е.н., професор
³О.М. Клендій, к.т.н., доцент
¹Н.В. Добіжа, к.е.н., доцент

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕЛАСТИЧНОГО СЕКЦІЙНОГО ШНЕКА

¹Тернопільський національний економічний університет

²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

³Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

З метою зменшення ступеня пошкодження зернових матеріалів при їх транспортуванні в замкнутих циліндричних кожухах розроблено нову конструкцію еластичного секційного шнека. Для проведення лабораторних досліджень розроблено та виготовлено експериментальну установку гвинтового конвеєра з еластичним секційним шнеком. За результатами експериментальних досліджень побудовані відповідні рівняння регресії, поверхні відгуку та їх двомірні перерізи для встановлення впливу на ступінь пошкодження зернових матеріалів керованих факторів

Ключові слова: секційний шнек, еластична секція, зерновий матеріал, лабораторні дослідження, експериментальна установка, рівняння регресії, поверхні відгуку

Вступ. Шнекові конвеєри знайшли широке застосування при транспортуванні зернових, насінневих матеріалів, гранульованих мінеральних добрив, які при переміщенні зазнають значних пошкоджень, що є недопустимим. Основними причинами травмування сипких матеріалів є попадання їх частинок у зазор між обертовим шнеком і нерухомою внутрішньою поверхнею направляючої труби, внаслідок чого відбувається пошкодження матеріалів, а також підвищуються енерговитрати на процес транспортування. Підбір конструктивних і кінематичних параметрів шнекових робочих в залежності від реологічних властивостей сипких матеріалів не може в повній мірі вирішити дану проблему.

Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз відомих досліджень підтвердив актуальність поставленої задачі. Вирішенню даних питань, а саме розробці оригінальних конструкцій гвинтових робочих органів та вибору їх раціональних параметрів і режимів роботи присвячені праці [1-6]. Проаналізовані різні варіанти виконання технологічних процесів при завантаженні [7], перевантаженні [8], вертикальному переміщенні [9] та змішуванні [10] сипких матеріалів. 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 завдання. Метою даного дослідження є розробка нової конструкції шнека з секційною еластичною гвинтовою поверхнею та експериментальної установки для проведення лабораторних досліджень з визначення впливу на ступінь пошкодження зернових матеріалів частоти обертання шнека, кута його нахилу до горизонту, а також величини зазору між внутрішньою поверхнею направляючої труби (кожуха) та зовнішньою поверхнею еластичного шнека.

Основний зміст. Для реалізації поставлених завдань розроблено нову конструкцію шнека з секційною еластичною гвинтовою поверхнею [15], яка механічно кріпиться до жорсткого гвинтового каркасу, що зображено на рис. 1.

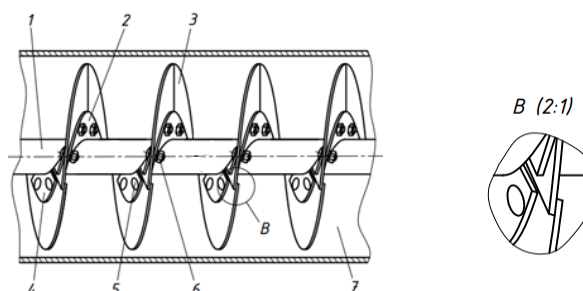


Рис. 1. Конструктивна схема шнека з секційною еластичною гвинтовою поверхнею

Шнек з еластичною гвинтовою поверхнею (рис.1) містить центральний вал 1, на якому закріплена жорстка гвинтова спіраль 2 з рівномірно по гвинтовій лінії виконаними кріпильними отворами, за допомогою яких, а також секційних гвинтових пластин 4, болтових з'єднань з напівкруглими головками 5 та шайб-пружин з гайками 6 закріплені еластичні секції 3.

В процесі транспортування сипких зернових матеріалів в направляючій трубі 7 вони взаємодіють з секційною еластичною гвинтовою поверхнею. У випадку попадання та защемлення, наприклад, зернини між внутрішньою поверхнею труби та зовнішньою гвинтовою поверхнею еластичні секції прогинаються, що забезпечує уникнення пошкодження зернини.

Ширина та жорсткість пелюстків робочої еластичної гвинтової поверхні вибираються в залежності від фізико-механічних властивостей транспортованого матеріалу.

Для уникнення попадання та защемлення частинок матеріалу в радіальних зазорах між секціями і їх хаотичного відхилення між собою, що призводитиме до розриву геометрії гвинтової лінії та розриву транспортованого потоку матеріалу, сусідні еластичні секції встановлені з перекриттям [16], що у збільшеному вигляді по В показано рис.1.

В процесі роботи транспортований матеріал плавно сходить з верхнього краю однієї секції на нижній край наступної, що виключатиме розрив потоку сипкого матеріалу та відповідно защемлення їх частинок в радіальних зазорах між секціями та зменшить пошкодження матеріалу та енерговитрати на процес транспортування.

Спосіб виготовлення шнека з секційною еластичною гвинтовою поверхнею [17] зображено на рис.2. Попередньо смуга прямокутного поперечного перетину навивається на оправку на ребро в пакет (рис.2 а). Далі пакет стискається на оправці та рівномірно по діаметру по периферії пакету шляхом свердління виконуються отвори (рис.2 б). Після цього пакет встановлюють на вал і здійснюють розтягування спіралі на заданий крок до повного контакту внутрішньої спіралі з валом (рис.2 в), після чого її приварюють до останнього (рис.2 г). Далі до отворів даної несучої спіралі кріпляться еластичні секції, як зображено на рис.1 д.

Для проведення комплексу лабораторних досліджень з визначення раціональних конструктивно-кінематичних параметрів шнека з секційною еластичною гвинтовою поверхнею для забезпечення мінімального ступеня пошкодження зернових матеріалів, а також встановлення енерговитрат на процес транспортування, роблено та виготовлено експериментальну установку [18], схема якої зображена на рис.3. Вона містить раму 11, на якій шляхом шарнірного з'єднання 1 з однієї сторони та шарнірних з'єднань 12 і 14 з іншої сторони за допомогою кронштейна з отворами 13, з можливістю кутового провертання та фіксації, закріплена підрама 10. На підрамі встановлений електродвигун 15 з пасовим приводом 2 шнека, котрий виконано у вигляді вала 6 із закріпленою несучою смуговою спіраллю 5, по периферії якої закріплена робоча еластична спіраль 4, яка утворена у вигляді окремих секцій.



а



б



в



г



д

Рис.2. Спосіб виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею: а – навита металева смуга на ребро в пакет; б - виконані отвори рівномірно по діаметру по периферії навитої металевої смуги на ребро в пакет; в – відкалібрована спіраль розташована на валу; г – приварена спіраль до валу; д – еластичні секції, які встановлені з перекриттям країв

Шнековий робочий орган розташований в корпусі транспортера 7, на якому з однієї сторони (в зоні завантаження сипкого матеріалу) розташований бункер 3, а з іншої сторони (в зоні вивантаження сипкого матеріалу) встановлений вивантажувальний патрубок 8, під яким розташована місткість 9 для відбору матеріалу.

Методика проведення експериментальних досліджень є наступною.

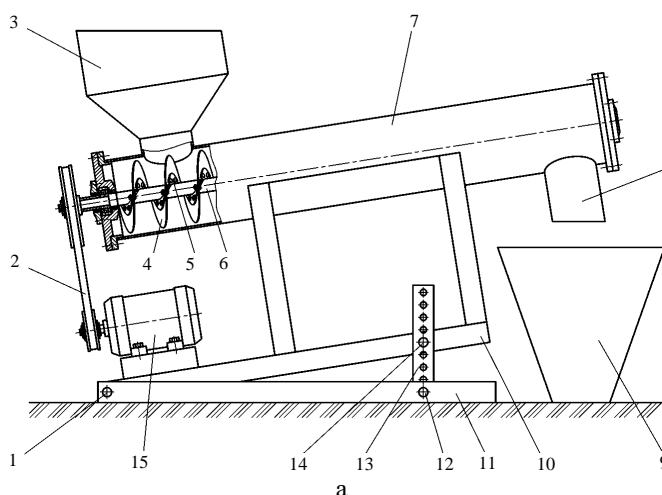
Спочатку сипкий зерновий матеріал завантажують у бункер і з певною частотою обертання шнека і заданими конструктивними параметрами, різною жорсткістю еластичної спіралі та кутом нахилу шнека до горизонту транспортують матеріал в зону вивантаження в місткість для відбору матеріалу.

За необхідності визначити ступінь травмування сипкого матеріалу в залежності від довжини його транспортування матеріал з місткості повторно завантажують у бункер і переміщують його в зону вивантаження. Даний процес повторюють стільки разів скільки необхідно для досягнення встановленої довжини транспортування.

Далі з місткості відбирають проби та визначають ступінь (відсоток) пошкодженого матеріалу. За різницею кінцевого ступеня пошкодження матеріалу та початкового (до транспортування в установці) визначається ступінь пошкодження матеріалу при його транспортуванні на встановлену довжину в установці.

Для встановлення впливу тих чи інших параметрів еластичного шнека проводять аналогічні дослідження при зміні частоти його обертання, конструктивних параметрах, жорсткістю еластичної спіралі або кута нахилу корпусу транспортера до горизонту.

Для визначення енергетичних параметрів процесу транспортування зернових матеріалів методика проведення експериментів була наступною. Для пуску двигуна і регулювання частоти його обертання використовували перетворювач частоти Altivar 71 та програмне забезпечення PowerSuite v.2.5.0. Після завершення транспортування матеріалу у вікні програми Power Suite на моніторі отримували дані про зміну крутного моменту, потужності двигуна в часі.



а



б

Рис.3. Експериментальна установка для проведення досліджень секційних еластичних шнекових робочих органів: а – схема установки; б – загальний вигляд

Результати отримували у форматі графічних залежностей у вікні програми дисплея комп'ютера. Величина крутного моменту і потужності двигуна фіксувались у відсотках від номінальних. Потужність двигуна визначалась із добутку номінальної потужності двигуна (2,2 кВт) на максимальне значення для вибраного режиму.

Для визначення номінального крутного моменту використовувалась відома формула:

$$M_n = \frac{9554 \cdot P_n}{n} \text{ (Нм)}, \quad (1)$$

де P_n – номінальна потужність двигуна (кВт); n – частота обертання (об/хв).

При проведенні багатofакторного експерименту з визначення ступеня пошкодження зернового матеріалу жорстким і еластичним шнеками, змінними факторами були: кут нахилу робочого органу до горизонту – α (град); частота обертання робочого органу – n (об/хв); величина зазору між жорстким шнеком і кожухом – Δ (мм).

Для жорсткого шнека рівняння регресії залежності ступеня травмування зернового матеріалу від α , n і Δ

$$T_{жс} = 0,0108 + 0,0046\alpha + 0,0005n + 0,053\Delta. \quad (2)$$

Факторне поле при проведенні експериментів визначалось таким діапазоном зміни параметрів: $0^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$; $200 \leq n \leq 500$ (об/хв); $2 \leq \Delta \leq 7$ (мм).

Для жорсткого шнека на рис. 4 зображено поверхні відгуку ступеня травмування T зернового матеріалу від одночасної зміни двох факторів: $T_{жс} = f(\Delta, \alpha)$; $T_{жс} = f(n, \alpha)$; $T_{жс} = f(n, \Delta)$.

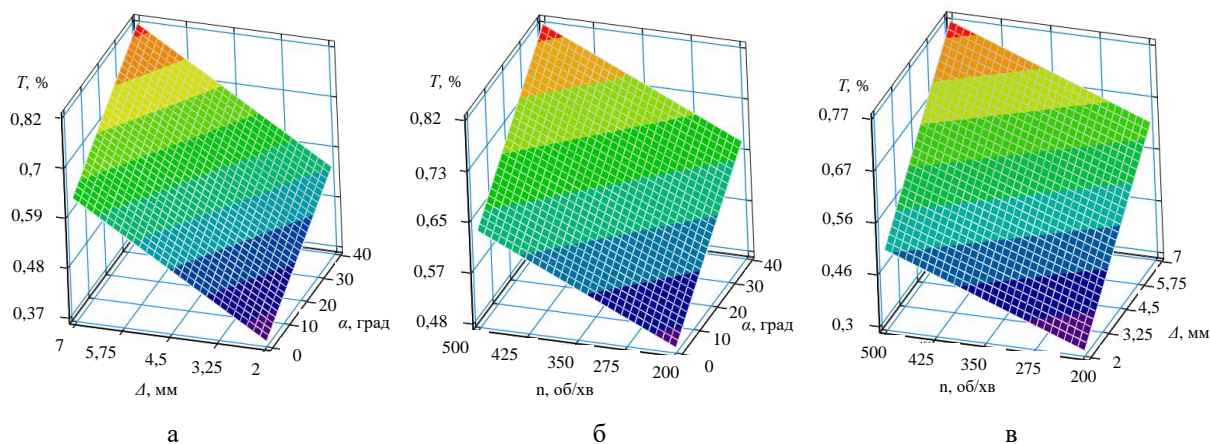


Рис. 4. Поверхні відгуку ступеня травмування $T_{жс}$ зернового матеріалу жорстким шнеком від зміни двох факторів: $T_{жс} = f(\Delta, \alpha)$; $T_{жс} = f(n, \alpha)$; $T_{жс} = f(n, \Delta)$

Для еластичного шнека рівняння регресії залежності ступеня травмування зернового матеріалу від α , n і Δ

$$T_e = 0,00108 + 0,0012\alpha + 0,0002n + 0,051\Delta. \quad (2)$$

Факторне поле при проведенні експериментів визначалось таким діапазоном зміни параметрів: $0^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$; $200 \leq n \leq 500$ (об/хв); $0 \leq \Delta \leq 4$ (мм).

Для еластичного шнека на рис. 5 зображено поверхні відгуку ступеня травмування T зернового матеріалу від одночасної зміни двох факторів: $T_e = f(\Delta, \alpha)$; $T_e = f(n, \alpha)$; $T_e = f(n, \Delta)$.

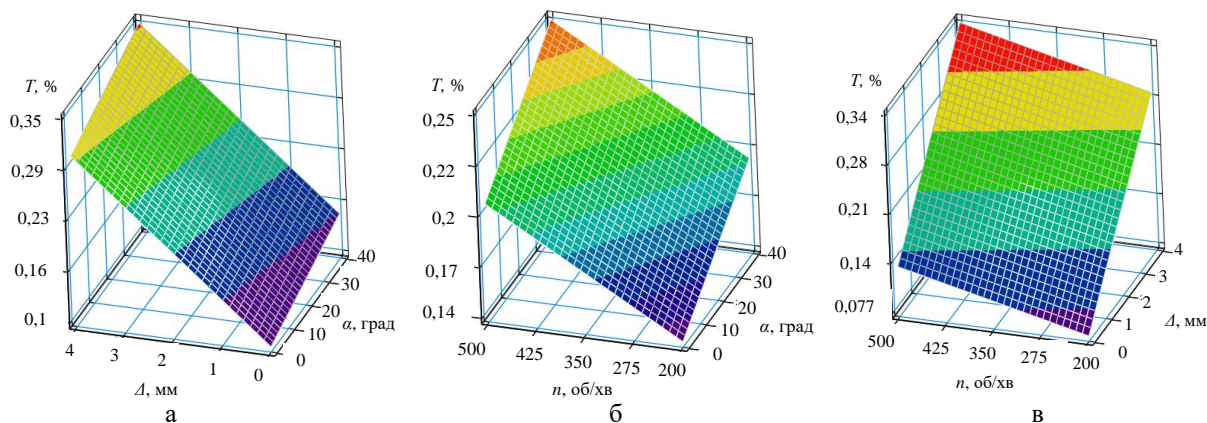


Рис. 5. Поверхні відгуку ступеня травмування T_e зернового матеріалу еластичним шнеком від зміни двох факторів: $T_e = f(\Delta, \alpha)$; $T_e = f(n, \alpha)$; $T_e = f(n, \Delta)$

При побудові поверхонь відгуку ступеня травмування T зернового матеріалу від одночасної зміни двох факторів іншому надавалось середнє значення, яке для різних параметрів відповідно становило: $\alpha = 20^\circ$; $n = 350$ об/хв; $\Delta = 2$ мм (для T_e) і 4,5 мм (для $T_{жс}$).

З аналізу поверхонь відгуку ступеня травмування $T_{жс}$ зернового матеріалу жорстким шнеком (рис.4) встановлено, що домінуючим фактором, який впливає на значення $T_{жс}$ є величина зазору Δ , далі за інтенсивністю впливу є кут нахилу шнека до горизонту α і несуттєво поступається йому за впливом частота обертання шнека n .

Так, у зазначених діапазонах зміни параметрів, зростання величини зазору Δ від 2 до 7 мм призводить до збільшення травмування зерна $T_{жс}$ від 0,385 до 0,65 % (у 1,69 рази). Зростання кута нахилу шнека до горизонту α від 0 до 40° спричиняє збільшення величини $T_{жс}$ від 0,43 до 0,61 % (у 1,42 рази), а частоти обертання n від 200 до 500 об/хв призводить до збільшення величини $T_{жс}$ від 0,49 до 0,60 % (у 1,22 рази).

З аналізу поверхонь відгуку ступеня травмування T_e зернового матеріалу еластичним шнеком (рис.5) встановлено, що домінуючим фактором, який впливає на значення T_e також є величина зазору Δ , а далі за інтенсивністю впливу, на відміну від жорсткого шнека, є частота обертання шнека n і несуттєво поступається їй за впливом кут нахилу шнека до горизонту α .

Так, у зазначених діапазонах зміни параметрів, зростання величини зазору Δ від 0 до 4 мм призводить до збільшення травмування зерна T_e від 0,095 до 0,32 % (3,37 рази). Зростання частоти обертання n від 200 до 500 об/хв призводить до збільшення величини T_e від 0,17 до 0,23 % (у 1,35 рази), а зміна кута нахилу шнека до горизонту α від 0 до 40° спричиняє збільшення величини T_e від 0,165 до 0,21 % (у 1,27 рази).

Порівнюючи величину ступеня травмування зернового матеріалу жорстким $T_{жс}$ та еластичним T_e шнеками для параметрів, які відповідають діапазону їх зміни для обох рівнянь регресії ($\alpha = 20^\circ$; $n = 350$ об/хв; $\Delta = 2$ і 4 мм) визначено відношення: $T_{жс} / T_e = 1,63$ (для $\Delta = 4$ мм) і $T_{жс} / T_e = 1,92$ (для $\Delta = 2$ мм).

Для випадку встановлення еластичного шнека без зазору з направляючою трубою ($\Delta = 0$ мм) відношення $T_{жс} / T_e$ становить 4,04. При цьому, як показали експериментальні дослідження, еластична поверхня шнека виконує так звану функцію підшипника ковзання, що сприяє суттєвому зменшенні вібрацій при роботі гвинтового конвеєра.

Таким чином, з проведених лабораторних досліджень встановлено, що застосування шнеків з еластичними робочими поверхнями забезпечує суттєве зниження ступеня пошкодження зернових матеріалів.

Висновки

На основі аналізу проведеного патентного пошуку конструкцій гвинтових робочих органів та літературних джерел з визначення оптимальних конструктивних, кінематичних і динамічних параметрів, а також режимів їх функціонування розроблено нову конструкцію шнека з секційною еластичною робочою поверхнею та спосіб його виготовлення.

Для проведення комплексу лабораторних досліджень з визначення раціональних конструктивно-кінематичних параметрів шнека з секційною еластичною гвинтовою поверхнею для забезпечення мінімального ступеня пошкодження зернових матеріалів, а також встановлення енерговитрат на процес транспортування, роблено та виготовлено експериментальну установку, а також запропоновано методику проведення.

Наведено результати багатофакторного експерименту з визначення ступеня пошкодження зернового матеріалу жорстким і еластичним шнеками.

На основі побудованих рівнянь регресії та аналізу поверхонь відгуку ступеня травмування $T_{ж}$ зернового матеріалу жорстким шнеком встановлено, що домінуючим фактором, який впливає на значення $T_{ж}$ є величина зазору між шнеком і кожухом Δ , далі за інтенсивністю впливу є кут нахилу робочого органу до горизонту α і несуттєво поступається йому за впливом частота обертання шнека n .

З аналізу поверхонь відгуку ступеня травмування T_e зернового матеріалу еластичним шнеком встановлено, що домінуючим фактором, який впливає на значення T_e також є величина зазору Δ , а далі за інтенсивністю впливу, на відміну від жорсткого шнека, є частота обертання шнека n і несуттєво поступається їй за впливом кут нахилу шнека до горизонту α .

З проведених лабораторних досліджень встановлено, що застосування шнеків з еластичними робочими поверхнями забезпечує суттєве зниження пошкодження зерна.

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. Вітровий А.О. Силовий аналіз робочого органу гнучкого гвинтового конвеєра / А.О.Вітровий, Р.Б.Гевко // Збірник наукових статей Луцького державного технічного університету "Сільськогосподарські машини".- Луцьк: Вид. ЛДТУ.- 1998.- Вип. 4.- С. 34-36.
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. Вдосконалення конструкції та обґрунтування параметрів секційного шарнірного робочого органу гнучкого гвинтового конвеєра / Р.Б. Гевко, А.О. Вітровий, М.Р. Гевко, М.Б. Клендій // Вісник інженерної академії України.- Київ.- 2009.-№1.- С. 212-216.
5. Гевко Р.Б. Динамічний розрахунок запобіжного пристрою шнекового транспортера / Р.Б. Гевко, Ю.Б. Гладько, М.І. Шинкарик, О.М. Клендій // Вісник Інженерної академії України.- Київ.- 2014.- № 3-4.- С. 46-52.
6. Lech M. (2001) - Mass flow rate measurement in vertical pneumatic conveying of solid, *Powder Technology*, vol.114, Issues 1–3, pp. 55-58.
7. 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.
8. Nevko R.B., Klendiy M.B., Klendiy O.M. (2016) – Investigation of a transfer branch of a flexible screw conveyer, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 48, no. 1, pp. 29-34, Bucharest, Romania.
9. Lyashuk O.L., Rogatynska O.R., Serilko D.L. (2015) - Modeling of the vertical screw conveyer loading, INMATEH: Agricultural Engineering, vol. 45, no.1, pp.87-94, Bucharest, Romania.
10. Nevko R.B., Yazlyuk B.O., Liubin M.V., Tokarchuk O.A., Klendii O.M., Pankiv V.R. (2017) - Feasibility study of mixture transportation and stirring process in continuous-flow conveyors, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 51, no. 1, pp. 49-58, Bucharest, Romania.
11. 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.