

УДК 631.358.42

Олександра Клендій, канд. техн. наук

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

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ КРУТНОГО МОМЕНТУ СПРАЦЮВАННЯ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ

***Резюме.** Запропоновано конструкцію запобіжної муфти, використання якої дозволяє підвищити ефективність функціонування гвинтових конвеєрів в екстремальних умовах експлуатації. Для проведення досліджень запобіжної муфти розроблено та виготовлено експериментальний стенд для визначення оптимальних параметрів та режимів роботи гвинтового конвеєра при перевантаженому робочому органі. З метою визначення інтенсивності впливу таких факторів, як кут нахилу робочого органу до горизонту, частота обертання робочого органу та час зростання моменту опору, на величину крутного моменту на приводному валу, що виникає при переміщенні сипкого чи кускового матеріалу, проведено багатфакторний експеримент. За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакета прикладних статистичних програм опрацювання та аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК, побудовано залежності поверхонь відгуку параметра оптимізації та двомірний переріз поверхонь відгуку для наочного відображення результатів проведених експериментальних досліджень.*

***Ключові слова:** гвинтовий конвеєр запобіжна муфта, півмуфта, крутний момент, канавка.*

Oleksandra Klendii

RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON FINDING THE TORQUE CHANGE OF THE SAFETY CLUTCH ACTION

***Summary.** Screw conveyors have been widely applied for transporting bulk and lump cargo in various productions processes. However, while transporting jamming of screw operating unit is possible by caused the gap between the screw rotation surface and the inner surface of the pipe guide. To restore the conveyor operation it is necessary to take aside in the axial direction the jammed screw edge from the contact with the cargo, and then after removal of overloading, the drive elements must provide initial position of the operating unit for transporting cargo in the unloading zone.*

The method of reversing jammed operating unit is conventional, which is performed using the planetary safety devices that provide feedback screw turning from insignificant rotation angle to several complete rotations with the further restoration of the initial position. The method of taking aside the jammed screw along the axis with the help of the ball safety clutch with profile holes is possible as well. Design of the safety clutch, the application of which makes possible to raise the efficiency of the conveyors operation in the extreme conditions, is presented in the article.

To prevent jamming of the screw conveyor operating unit while transporting, safety devise with the distributed in time jamming regimes and axial displacement of screw for the automatic recovery of the conveyor operation, has been proposed.

To investigate the safety clutch a test bench for finding optimum parameters and regimes of the screw conveyor operation with overloaded operating unit, has been developed.

To determine the effect intensity of such factors as inclination angle of the operating unit to the horizon, frequency of the operating unit rotation, time of the resistance moment increase in the torque value on the drive shaft, which occurs while transporting bulk or lump cargo, multifactor experiment has been carried

out. According to the results of the calculations carried out taking advantage of the package of applied statistic software for processing and analyses of the experimental investigation results for PC, the dependences of the response surfaces of the optimization parameter and two-dimensional cross-section of the response surfaces have been built for visual presentation of results of the carried out investigations.

It was found, that the greatest effect on the torque value is that of the operating unit rotation frequency. The next as to the intensity of effect on the torque value is the inclination angle of the operating unit to the horizon. The smallest effect is that of the time of the resistance moment growth.

Key words: screw conveyor, safety clutch, semi-clutch, torque, groove.

Постановка проблеми. Гвинтові конвеєри отримали значне використання при переміщенні сипких і кускових матеріалів у різних виробничих процесах. Однак при транспортуванні матеріалів внаслідок наявності зазору між поверхнею обертання шнека та внутрішньою поверхнею направляючої труби можливі заклинювання гвинтового робочого органу. Для відновлення працездатності конвеєра необхідно відвести в осьовому напрямку заклинене ребро шнека від контакту з матеріалом, і в подальшому після зняття перевантаження, елементи привода повинні забезпечити початкове положення робочого органу для транспортування матеріалу в зону вивантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі принципи реверсування заклиненого робочого органу, які виконуються за допомогою планетарних запобіжних муфт і забезпечують зворотне повертання шнека від незначного кута повороту до кількох обертів з наступним відновленням його початкового положення. Також можливий спосіб осьового відведення заклиненого гвинтового робочого органу за допомогою кулькових запобіжних муфт з профільним виконанням лунок як при виході із зачеплення, так і при їх входженні [1; 2; 4; 5; 6; 9].

Аналіз відомих досліджень показав, що основними недоліками існуючих запобіжних муфт, які забезпечують реверсування перевантажених робочих органів, є їх конструктивна й технологічна складність, велика матеріаломісткість, недостатня надійність. Також вони мають значні габаритні розміри, а при їх роботі виникають суттєві динамічні навантаження внаслідок дії сил інерції ведених ланок привода й робочого органу з автоматичним відновленням його початкового положення.

Мета роботи. Підвищення ефективності функціонування гвинтових конвеєрів в екстремальних умовах експлуатації шляхом розроблення та обґрунтування раціональних параметрів запобіжної муфти шнекового робочого органу.

Постановка завдання. Розробити нову конструкцію запобіжної муфти гвинтового конвеєра для осьового відведення робочого органу шнекового транспортера при виникненні перевантаження та забезпечення відновлення його початкового положення, а також провести експериментальні дослідження за багатофакторним експериментом.

Результати дослідження. З метою усунення заклинення робочого органу гвинтового конвеєра при передаванні крутного моменту запропоновано використовувати запобіжну муфту [3; 7] з розділеними в часі режимами буксування та осьового зміщення шнека для відновлення його робочого стану.

На рис.1 показана схема роботи запобіжної муфти. При заклиненні робочого органу відбувається основне розчеплення півмуфт, тобто здійснюється вихід кульок з лунок на величину h по лінії ab , що спричиняє розмикання кінематичного ланцюга привода.

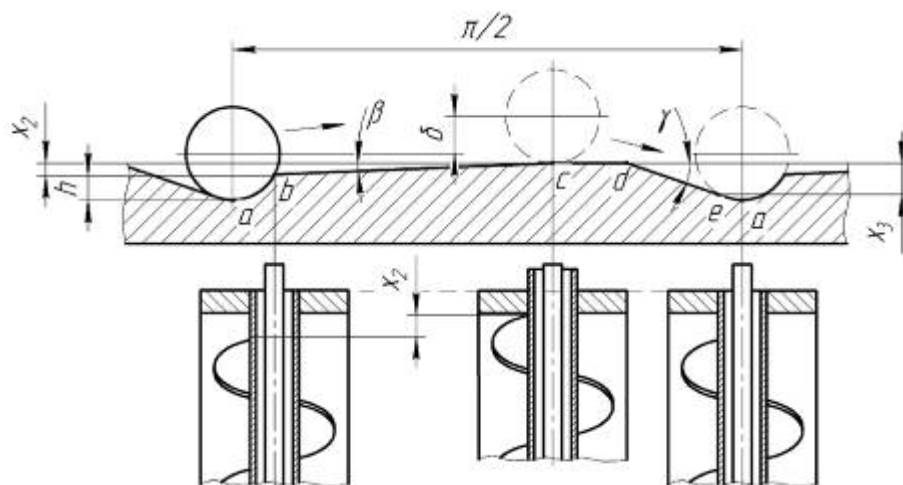


Рисунок 1. Схема роботи запобіжної муфти

Figure 1. Scheme of the safety clutch operation

Далі кульки переміщуються по похилих робочих канавках (з кутом нахилу β) веденої півмуфти (лінія bc), і таким чином здійснюється плавне «м'яке» осьове відведення гвинтового робочого органу на максимальну величину x_2 , що суттєво зменшує динамічне навантаження на привод конвеєра. Внаслідок подальшого обертання ведучої півмуфти кульки заходять у початкове положення, рухаючись при цьому по похилих зворотних канавках з кутом нахилу γ на торцевій поверхні веденої півмуфти (лінія de) і здійснюється переміщення шнека на величину x_3 , тобто відбувається плавне відновлення робочого стану гвинтового конвеєра.

На рис. 2 показано загальний вигляд (а) запобіжної муфти та загальний вигляд (б) робочої поверхні веденої півмуфти.



Рисунок 2. Загальний вигляд (а) запобіжної муфти та загальний вигляд (б) робочої поверхні веденої півмуфти

Figure 2. General view (a) of the safety clutch and general view (b) of the working surface of the driven semi-clutch

Для визначення інтенсивності впливу таких факторів, як кут нахилу робочого органу до горизонту, частота обертання робочого органу та час зростання моменту опору, на величину крутного моменту на приводному валу, що виникає при переміщенні сипкого чи кускового матеріалу проведено багатофакторний експеримент.

З метою проведення досліджень розроблено експериментальний стенд для визначення зміни крутного моменту спрацювання запобіжної муфти, який представлено на рис. 3 [10]. Він складається із рами 10, на якій розміщено гвинтовий конвеєр, що містить направляючу трубу 7, в якій розташований шнековий робочий орган 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 пуску двигуна й 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 до комп'ютера 1. Навантаження може задаватись як гальмівним елементом, так і перекриттям шибєрної заслінки.

Для встановлення залежності зміни крутного моменту спрацювання запобіжної муфти сипкий або кусковий матеріал засипали в бункер і транспортували його до зони вивантаження.

Після завершення процесу транспортування матеріалу у вікні програми Power Suite на дисплеї комп'ютера отримували дані про зміну крутного моменту. Оцінка його коливань реалізувалась за рахунок побудови та проведення порівняльного багатофакторного експерименту типу ПФЕ P^k , де P – кількість рівнів варіювання фактора; k – кількість факторів, які присутні в експерименті.

Для отримання регресійної моделі параметра оптимізації, яку приймали у вигляді функціонала $T = f(x_1; x_2 \dots x_i)$, де T – крутний момент на приводному валу від 1 до i -го випадку; $x_1; x_2 \dots x_i$ – натуральні незалежні змінні фактори, вибирали відповідний умовний план багатофакторного експерименту, реалізацію якого проводили у такій послідовності.

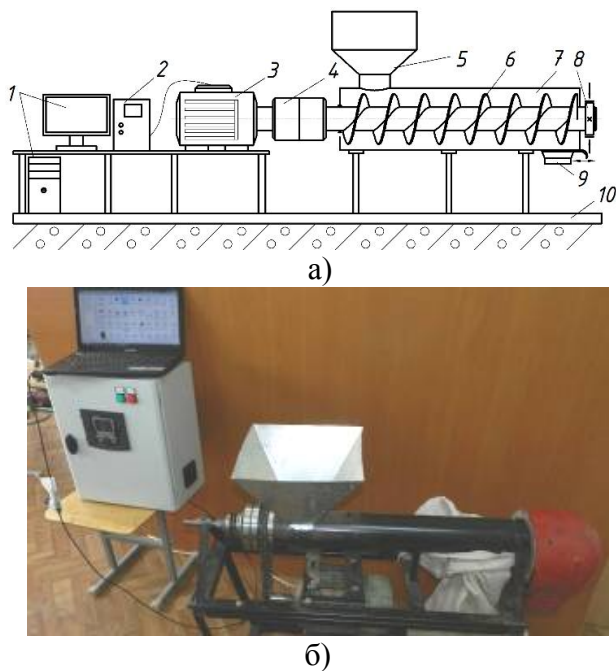


Рисунок 3. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) експериментального стенду для дослідження запобіжної муфти

Figure 3. Design scheme (a) and the general view (b) of the test bench for investigations of the safety clutch

Для визначення зміни крутного моменту T при роботі запобіжної муфти незалежними змінними факторами приймали: кут нахилу робочого органу до горизонту α , який кодували індексом X_1 , частоту обертання шнека n , яку кодували індексом X_2 , час зростання моменту опору T_o , який кодували індексом X_3 .

При побудові план-матриці багатфакторних експериментів вводили кодовані позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання кожним фактором, які відповідно позначали як (+1), (-1), (0). Результати кодування змінних факторів і рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

Після кодування факторів склали план-матрицю відповідного багатфакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 для загального числа дослідів $N = 3^3$. З метою достовірної оцінки якості роботи запобіжної муфти гвин-

тового конвеєра під час проведення лабораторних досліджень, необхідну кількість вимірів показників, що контролюються (повторність дослідів) визначали за методикою, яка викладена в [8], при цьому досліди провели в трикратній повторності.

Таблиця 1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання ПФЕ 3^3

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Код	Натур				
Кут нахилу робочого органу до горизонту α , град	X_1	x_1	20	0/-1	20/0	40/+1
Частота обертання робочого органу, n , об/хв	X_2	x_2	50	50/-1	100/0	150/+1
Час зростання моменту опору T_o , с	X_3	x_3	0,25	0,2/-1	0,45/0	0,7/+1

При реалізації складених план-матриць, для усунення впливу на отримані результати величини крутного моменту на приводному валу впливу неконтрольованих і нерегульованих факторів, провели рандомізацію план-матриці методом випадкового балансу, який було реалізовано способом витягання порядкових номерів дослідів з урни [8].

Зміна кута нахилу робочого органу до горизонту забезпечується конструкцією гвинтового конвеєра, частоту обертання робочого органу та час зростання моменту опору змінювали за допомогою перетворювача частоти Altivar 71.

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто зміна величини крутного моменту спрацювання запобіжної муфти при транспортуванні кускового та сипкого

матеріалів $T = f(\alpha; n; T_o)$, визначеної експериментальним шляхом, представлено у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратного полінома.

Загальний вигляд рівняння регресії крутного моменту спрацювання запобіжної муфти залежно від зміни кута нахилу робочого органу до горизонту α , його частоти обертання n та часу зростання моменту опору T_o за результатами проведених ПФЕ 3^3 у кодovаних величинах має вигляд

$$T = 106,091 - 0,019x_1 + 0,142x_1 \cdot x_2 - 0,012x_2 \cdot x_3 + 0,062x_3^2. \quad (1)$$

Після проведення необхідних обчислень та розрахунків виведено рівняння регресії в натуральних координатах, яке має вигляд

$$T = 106,091 - 0,019\alpha + 0,142\alpha n - 0,012nT_o + 0,062T_o^2. \quad (2)$$

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакету прикладних статистичних програм опрацювання та аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК, будували залежності поверхонь відгуку параметра оптимізації та двомірний переріз поверхонь відгуку для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень.

Отримані регресійні залежності крутного моменту при транспортуванні кускового та сипкого матеріалів у вигляді функціонала $T = f(\alpha; n; T_o)$ характеризували впливи одиничних факторів (кута нахилу робочого органу до горизонту α , його частоти обертання n , та часу зростання моменту опору T_o) та їх взаємодію на параметр оптимізації.

На рис.4 – 6 зображено поверхні відгуку та їх двомірний переріз зміни крутного моменту спрацювання запобіжної муфти від кута нахилу робочого органу до горизонту α , його частоти обертання n , та часу зростання моменту опору T_o .

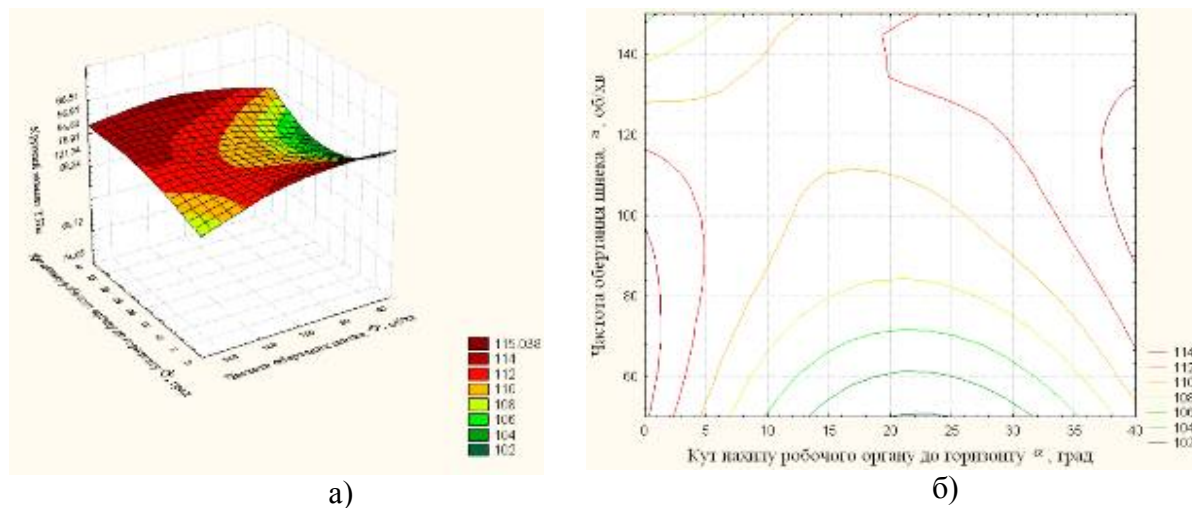


Рисунок 4. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності $T = f(n, \alpha)$ при $T_o = 0,45$ с

Figure 4. Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) of dependence $T = f(n, \alpha)$ at $T_o = 0,45$ с

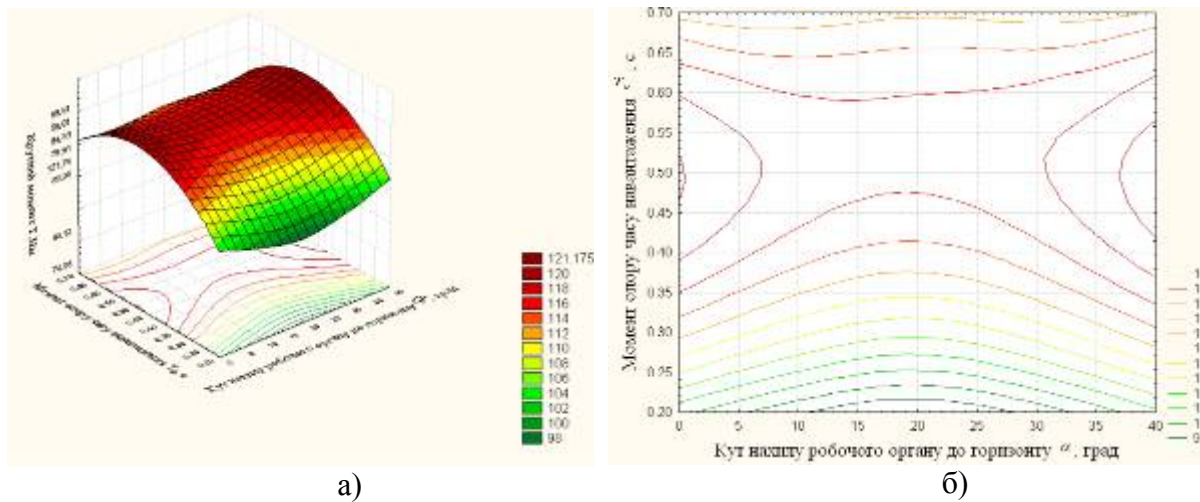


Рисунок 5. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності $T = f(\alpha, T_0)$ при $n=1000$ об/хв

Figure 5. Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) of dependence $T = f(\alpha, T_0)$ at $n=1000$ об/хв

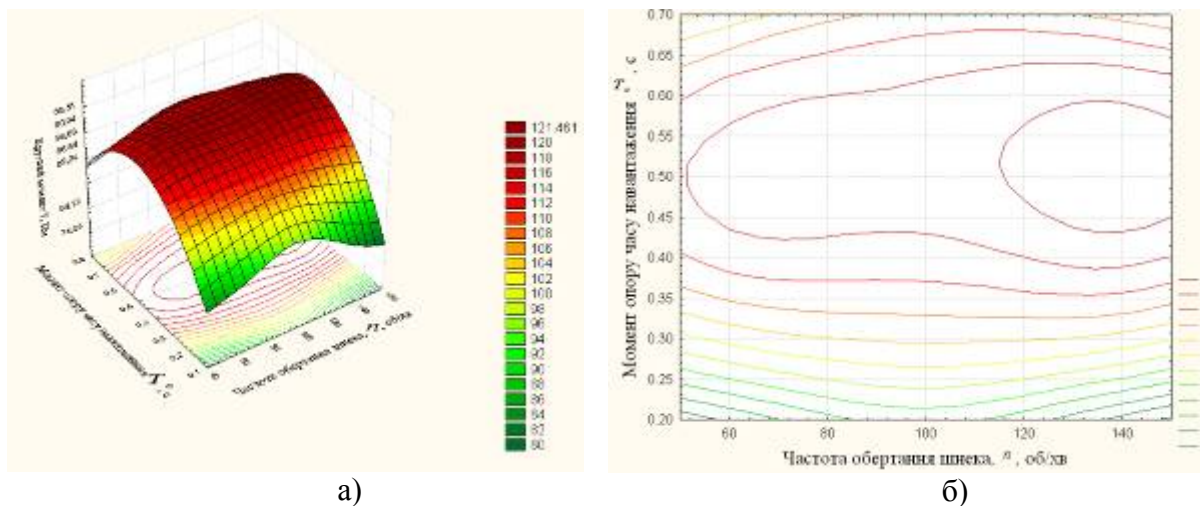


Рисунок 6. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності $T = f(n, T_0)$ при $\alpha=20^\circ$

Figure 6. Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) of dependence $T = f(n, T_0)$ at $\alpha=20^\circ$

Встановлено, що найбільший вплив на величину крутного моменту T має частота обертання робочого органу n (зміна n призводить до зростання T у 2,14 раза). Далі за інтенсивністю впливу на момент T є величина кута нахилу робочого органу до горизонту α (зміна α призводить до зростання T у 1,98 раза) і найменший вплив на значення крутного моменту T має величина часу зростання моменту опору T_0 (зміна T_0 призводить до падіння T у 1,17 рази).

Висновки. На основі проведеного патентного огляду та аналізу існуючих конструктивно-технологічних схем захисних пристроїв гвинтових конвєсєрів запропоновано нову конструкцію запобіжної муфти, яка дозволяє суттєво зменшити динамічні навантаження на привід, що значно підвищує довговічність та

експлуатаційні характеристики шнекових транспортерів. Для проведення досліджень запобіжної муфти розроблено та виготовлено експериментальний стенд для визначення оптимальних параметрів та режимів роботи гвинтового конвеєра при перевантаженому робочому органі. Також проведено багатофакторний експеримент, на основі якого отримано регресійну залежність з визначення впливу кута нахилу робочого органу до горизонту α , частоти обертання робочого органу n та часу зростання моменту опору T_0 на момент спрацювання запобіжної муфти. Факторне поле визначалось таким діапазоном зміни параметрів: $0^\circ < \alpha < 40^\circ$; $50 < n < 150$ об/хв; $0,2 < T_0 < 0,7$ с. Встановлено, що найбільший вплив на величину T має n (зміна n призводить до зростання T у 2,14 раза). Далі за інтенсивністю впливу на T є величина α (зміна α призводить до зростання T у 1,98 раза) і найменший вплив на величину T має T_0 (зміна T_0 призводить до падіння T у 1,17 раза).

Conclusions. On the basis of the patents review and of the analysis of available structural and technological schemes of safety clutches of screw conveyors a new construction the safety device, which can significantly decrease the dynamic load on the drive, which result in raising durability and operating characteristics of screw conveyors, has been proposed. To carry out investigation of the safety clutch a test bench to determine the optimum parameters and operation regimes of the screw conveyer under overloading of the operating unit has been developed and produced. Moreover, a multifactor experiment has been performed, basing on which the regression dependence for finding the effect of inclination angle of the operating unit to the horizon α , the frequency of the operating unit rotation n , and the time of the resistance moment T_0 increase at the moment of the safety clutch action, have been found. Factorial field has been determined by the following range of the parameter change: $0^\circ < \alpha < 40^\circ$; $50 < n < 150$ rotation/m; $0,2 < T_0 < 0,7$ s. It has been found, that n has the greatest influence on the value T (the change in n causes the increase of T in 1,2 times). The next rated according to the intensive influence on T is the value α (the change in α results in the increase of T in 1,98 times) and T_0 has the least influence on T (the change in α cause results in s the increase of T in 1,17 times).

Список використаної літератури

1. Hevko R.B. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor mechanism operation / Hevko R.B., Dzyura V.O., Romanovsky R.M. // INMATEH: Agricultural engineering, vol. 44, no.3, 2014 – pg. 103 – 110.
2. Hevko R.B. Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface / Hevko R.B., Zalutskyi S.Z., Tkachenko I.G., Klendiy O.M. // INMATEH: Agricultural engineering, vol. 46, no. 2, 2015. – P. 133 – 138.
3. Hevko R.B. The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation / Hevko R.B., Klendiy O.M. // INMATEH: Agricultural engineering, vol. 42, no. 1, 2014 – pg. 55 – 60.
4. А. с. 1437597, МКИ F16D 7/04. Предохранительное устройство [Текст] / В.К. Сулимов, Т.В. Сулимова, Р.Б. Гевко. – №4155124; заявл. 02.12.86; опубл. 15.11.88; Бюл. № 42. – 3 с.
5. А. с. 1456342, МКИ B65G 33/24. Предохранительное устройство [Текст] / Б.М. Гевко, Р.Б. Гевко. – № 4102349; заявл. 11.05.89; опубл. 07.02.89; Бюл. № 5. – 3 с.
6. Поляков, В.С. Справочник по муфтам [Текст] / В.С. Поляков, И.Д. Барабаш, О.А. Ряховский, – Л.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
7. Пат. №71785, МПК F16D 7/00. Запобіжний пристрій [Текст] / Гевко Р.Б., Клендій О.М.: заявник і власник патенту Тернопільський національний економічний університет. – № u201200608; заявл. 19.01.2012; опубл. 25.07.2012; Бюл. № 14.
8. Хайлис, Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин [Текст] / Г.А. Хайлис. – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 240 с.
9. Гевко, Р.Б. Підвищення надійності функціонування гвинтових конвеєрів [Текст] / Р.Б. Гевко, О.М. Клендій // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2011. – Випуск 114. – С. 168 – 172.

10.Гевко, Р.Б. Результати експериментальних досліджень кулькового запобіжного пристрою шнекового транспортера [Текст] / Р.Б. Гевко, О.М. Клендій // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 3 – 4. – С. 236 – 241.

Отримано 02.10.2015

УДК 621 7.043

Іван Гевко, докт. техн. наук, Олег Катрич

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

СИНТЕЗ СПОСОБІВ НАВИВАННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

Резюме. *Висвітлено синтез нових способів навивання гвинтових заготовок методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу. Проаналізовано основні способи навивання циліндричних і профільних гвинтових заготовок. Для пошуку нових ідей зі створення прогресивних способів навивання спіралей шнеків використано метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу, в результаті чого отримано 32 варіанти рішень. Використовуючи даний метод синтезу, розроблено два способи навивання гвинтових заготовок по зовнішній поверхні цільним пакетом та на крок, на які отримано патент на корисну модель та позитивне рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель. У порівнянні з традиційними способами даний технологічний процес навивання гвинтових заготовок по зовнішній поверхні є менш енергомісткий, забезпечує поверхневий наклеп на торці шнека та значно підвищує продуктивність праці за рахунок суміщення основного часу на навивання та калібрування.*

Ключові слова: *гвинтові заготовки, морфологічний аналіз, синтез ієрархічних груп, навивання, метод синтезу, формоутворення, профільні спіралі шнеків.*

Ivan Gevko, Oleh Katrych

SYNTHESIS OF THE SPIRAL PIECES COILING METHODS

Summary. *The design of the spiral pieces coiling methods with technological possibilities and minimum energy expenses has been developed. The calculations of the desing spiral pieces options have been presented taking advantage of the morphological analysis method. The morphological model, design characteristics of the coiling process of the spiral pieces are presented as the morphological matrix. Determination of the options number of the spiral pieces design, which the matrix includes and application of the combination method of the hierarchy group synthesis was carried out taking advantage of the morphological analysis. To find new ideas and create advanced methods of screw spirals coiling it is worth using the conventional method of morphological analysis, which makes possible to obtain the complete number of solutions and their advanced option the method of hierarchy groups synthesis using morphological analysis which deals with the generation of options at separate hierarchy levels or within separate design elements starting with the higher ones, which provides obtaining the most reasonable design solutions which save expenses, force and time. The goal of construction characteristics and pieces of the spiral coiling is to obtain the design with improved engineering-economic characteristics taking advantage of the hierarchy grouping method using morphological analysis. With this purpose Table 1 includes design characteristics and necessary element, which are used while spiral pieces coiling, the number of rolls and their location relatively the mandrel type, mandrel material, pieces shape pieces feeding in particular, as well as some characteristics of the coiling process, that is, the package density and the number of coiled pieces.*

Key words: *screw blanks, morphological analysis, synthesis of hierarchical groups, coiling method of synthesis, morphogenesis, profile spirals screw.*

Умовні позначення

n – характеристика;