

УДК 536.24

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗМІНИ КРУТНОГО МОМЕНТУ РОБОТИ ЗАПОБІЖНОЇ МУФТИ

О. М. Троханяк

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття зі спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: klendii_o@ukr.net.

Історія статті: отримано – листопад 2020, акцептовано – грудень 2020.

Бібл. 9, рис. 5, табл. 1.

Анотація. В статті представлена конструкція запобіжної муфти, яка дає можливість підвищити ефективність функціонування гвинтових конвеєрів у екстремальних умовах експлуатації. Розроблено та виготовлено експериментальний стенд для визначення оптимальних параметрів та режимів роботи гвинтового конвеєра із запобіжною муфтою при перевантаженому робочому органі. Для встановлення значення впливу таких факторів, як кут нахилу робочого органу до горизонту, частота обертання робочого органу та час зростання моменту опору, на величину крутного моменту на привідному валу, який виникає під час переміщення сипкого чи кускового матеріалу, проведено багатофакторний експеримент. За результатами досліджень для наочного відображення результатів побудовано залежності поверхонь відгуку параметра оптимізації та їх двомірний переріз.

Ключові слова: гвинтовий конвеєр, шнек, муфта, канавка, крутний момент.

від незначного кута повороту до декількох обертів із наступним відновленням його початкового стану. Також можна використовувати спосіб осьового відведення заклиненого шнека за допомогою кулькових запобіжних муфт із профільним виконанням лунок, як при виході із зачеплення, так і при їх входженні [1, 2, 4, 5, 6, 9].

Із аналізу відомих досліджень видно, що до основних недоліків існуючих запобіжних пристроїв, що забезпечують реверсування перевантажених робочих органів, належить їх технологічна та конструктивна складність, достатньо велика матеріаломісткість, недостатня надійність. Вони мають великі габаритні розміри, і при їх роботі виникають значні динамічні навантаження за рахунок дії сил інерції ведених ланок приводу і шнека із автоматичним відновленням його початкового положення.

Мета досліджень

Розробити та обґрунтувати раціональні параметри запобіжної муфти гвинтового робочого органу з метою підвищення ефективності функціонування гвинтових конвеєрів у екстремальних умовах експлуатації.

Результати досліджень

Для усунення заклинення робочого органу шнекового конвеєра під час передачі крутного моменту запропоновано застосовувати запобіжну муфту [3, 7] із розділеними у часі режимами буксування і осьового зміщення шнека для відновлення робочого стану транспортера. Конструктивна схема та загальний вигляд муфти та робочої поверхні веденої півмуфти представлено на рис. 1. Під час передачі крутного моменту кульки знаходяться в зачепленні із лунками ведучої півмуфти, це забезпечує обертання запобіжної муфти та гвинтового органу. Ведена півмуфта закріплена на шліцах валу із можливістю осьового зміщення. Між

Постановка проблеми

Шнекові конвеєри широко застосовують під час переміщення сипких та кускових матеріалів у різних виробничих процесах. Проте при транспортуванні матеріалів через наявність зазору між поверхнею обертання гвинтового робочого органу і внутрішньою поверхнею кожуха можуть виникати заклинювання шнека. Для того, щоб відновити працездатність конвеєра слід відвести у осьовому напрямку заклинене ребро гвинтового робочого органу від контакту із матеріалом, та в подальшому після зняття перевантаження, елементи приводу повинні забезпечити початкове положення шнека при транспортуванні матеріалу у зону вивантаження.

Аналіз останніх досліджень

На основі аналізу відомих принципів реверсування заклиненого шнека, що виконують за допомогою планетарних запобіжних муфт та забезпечують зворотне повертання робочого органу

веденою півмуфтою і гайкою є зазор δ , величина якого відповідає запобіжному режиму. По діаметру розміщення кульок та лунок із обох сторін лунки на торцевій поверхні ведучої півмуфти є похилі робочі і зворотні канавки, причому кут нахилу робочої канавки є значно меншим кута нахилу зворотної канавки. Під час виникнення перевантаження ведена півмуфта зупиняється, а ведуча продовжує обертатися, це в свою чергу викликає вихід кульок із зачеплення з лунками. І кульки рухаються по робочій канавці, що призводить до плавного «м'якого» осьового відведення заклиненого шнека. При подальшому обертанні ведучої півмуфти кульки по зворотній канавці заходять у лунки, відновлюючи початковий стан муфти. Для встановлення інтенсивності впливу таких чинників, як кут нахилу шнека до горизонту, його частота обертання та час зростання моменту опору, на значення крутного моменту на привідному валу, що виникає під час переміщення сипкого чи кускового матеріалу виконано багатофакторний експеримент.

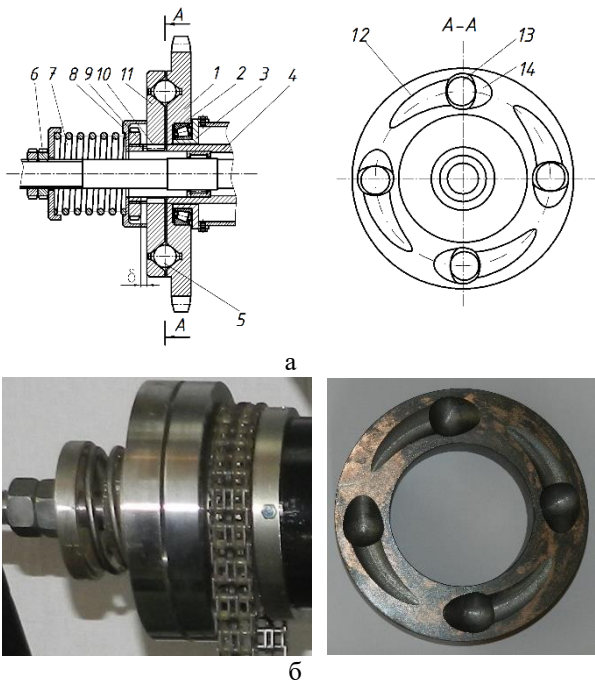


Рис. 1. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) запобіжної муфти і робочої поверхні веденої півмуфти: 1 – ведуча півмуфта; 2 – радіально-упорний підшипник; 3 – корпус; 4 – вал шнека; 5 – кульки; 6 – гайка; 7 – центральна пружина; 8 – втулка; 9 – гайка; 10 – шліци; 11 – ведена півмуфта; 12 – похила робоча канавка; 13 – лунки; 14 – похила зворотна канавка.

Fig. 1. Structural diagram (a) and general view (b) of the safety clutch and the working surface of the driven clutch

Для проведення досліджень виготовлено експериментальний стенд для визначення зміни крутного моменту спрацювання запобіжної муфти, який показано на рис. 2 [10].

Для пуску двигуна та регулювання частоти його обертання застосовували перетворювач частоти (Altivar 71) із програмним забезпеченням Power Suite v.2.5.0. Система Altivar 71 є приєднана до мережі та до комп'ютера. Навантаження можна задавати як за допомогою гальмівного елемента, так і перекриття шиберної заслінки.



Рис. 2. Загальний вигляд експериментального стенду для дослідження запобіжної муфти.

Fig. 2. General view of the experimental stand for the study of the safety clutch.

З метою визначення залежності зміни крутного моменту спрацювання запобіжної муфти сипкий або кусковий матеріал засипали у бункер і транспортували його до зони вивантаження.

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

З метою отримання регресійної моделі параметра оптимізації, яку приймали у вигляді функціонала $T = f(x_1; x_2 \dots x_i)$, де T – крутний момент на привідному валу від 1 до i -го випадку; $x_1; x_2 \dots x_i$ – натуральні незалежні змінні чинники, вибирали відповідний умовний план багатофакторного експерименту, реалізацію якого виконували в такій послідовності. Для встановлення зміни крутного моменту T під час роботи запобіжної муфти незалежними змінними чинниками приймали: кут нахилу шнека до горизонту α , який кодували індексом X_1 , частоту обертання шнека n , яку кодували індексом X_2 , час зростання моменту опору T_0 , який кодували індексом X_3 .

Під час побудови план-матриці багатофакторних експериментів вводили кодовані позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання

кожним ченником, які відповідно позначали як (+1), (-1), (0). Результати кодування змінних факторів і рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

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, н, 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

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

З метою реалізації складених план-матриць, для усунення впливу на отримані результати значення крутного моменту на привідному валу впливу неконтрольованих та нерегульованих чинників, виконали рандомізацію план-матриці методом випадкового балансу, який було реалізовано способом витягання порядкових номерів дослідів з урни [8]. Зміна кута нахилу шнека до горизонта здійснюється конструкцією гвинтового конвеєра, частоту обертання робочого органу та час зростання моменту опору змінювали за допомогою перетворювача частоти Altivar 71.

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто зміну величини крутного моменту спрацювання запобіжної муфти під час транспортування сипкого і кускового матеріалів $T = f(\alpha; n; T_o)$, знайденої експериментальним шляхом, показано у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратного полінома. Загальний вигляд рівняння регресії крутного моменту спрацювання запобіжної муфти залежно від зміни кута нахилу шнека до горизонту α , його частоти обертання n та часу зростання моменту опору T_o за результатами проведених ПФЕ 3^3 у кодованих величинах:

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

Після виконання необхідних обчислень та розрахунків виведено рівняння регресії у 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 обчислень, які проводили за допомогою пакету прикладних статистичних програм оброблення та аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК, будували залежності поверхонь відгуку параметра оптимізації та двовірний 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 шнека до горизонту α , його частоти обертання n , та часу зростання моменту опору T_o) та їх взаємодію на параметр оптимізації.

На рис. 3 – рис. 5 показано поверхні відгуку та їх двовірний переріз зміни крутного моменту спрацювання запобіжної муфти від кута нахилу шнека до горизонту α , його частоти обертання n , та часу зростання моменту опору T_o .

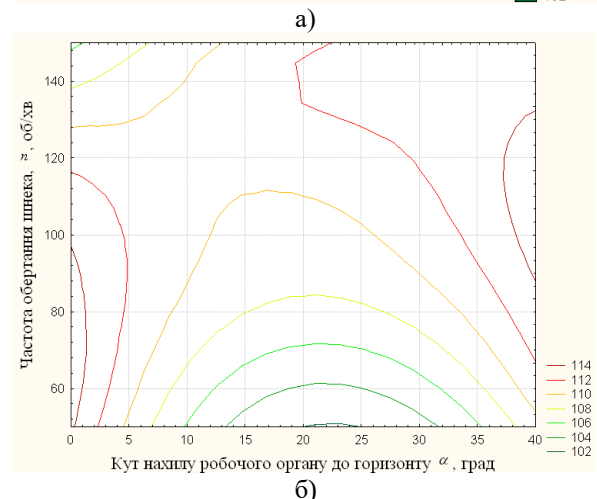
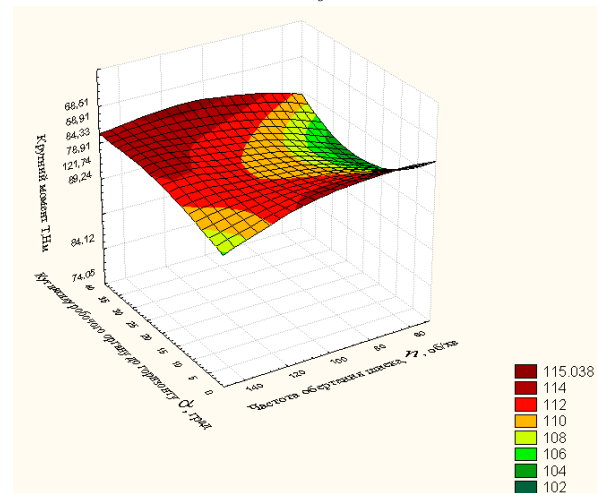
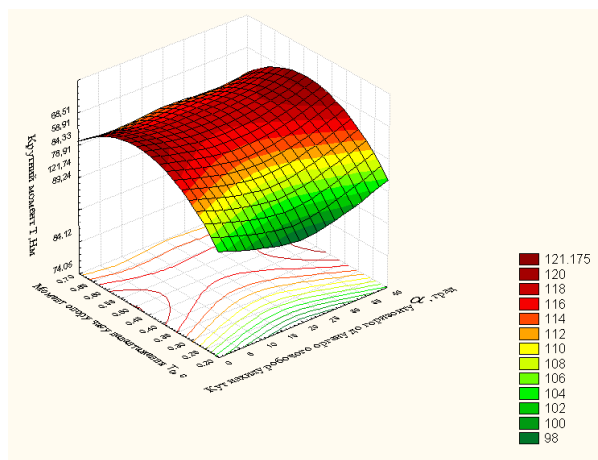


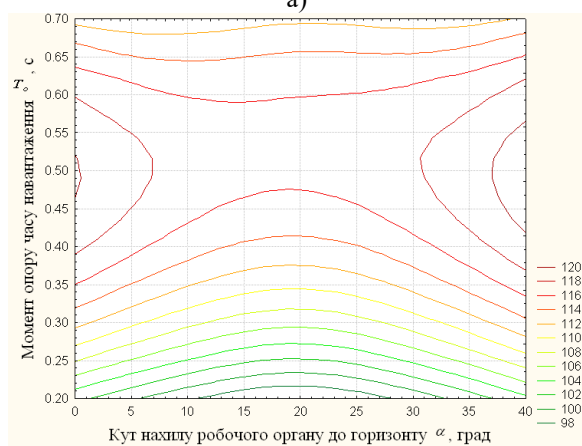
Рис. 3. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності $T = f(n, \alpha)$ при $T_o = 0,45$ с.

Fig. 3. Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) dependence $T = f(n, \alpha)$ at $T_o = 0.45$ s.

Встановлено, що найбільший вплив на величину крутного моменту T має частота обертання робочого органу n (зміна n призводить до зростання T у 2,14 рази).



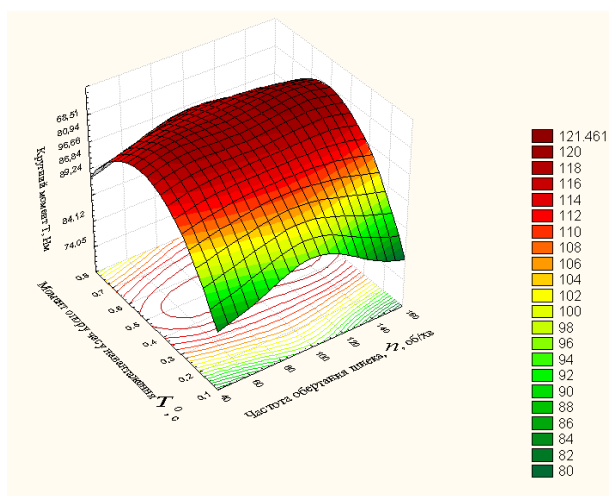
а)



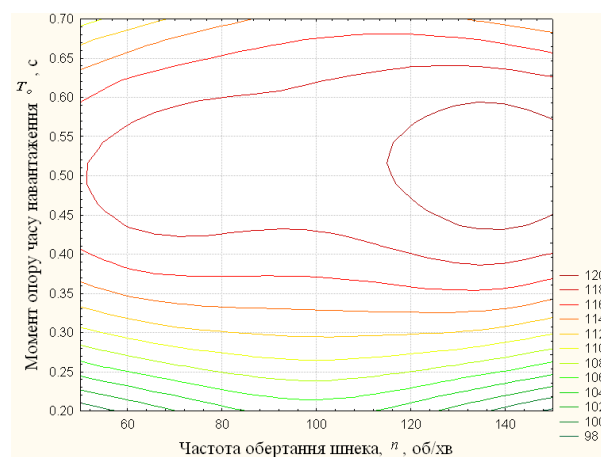
б)

Рис. 4. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності $T = f(\alpha, T_0)$ при $n = 100$ об/хв.

Fig. 4. Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) dependence $T = f(\alpha, T_0)$ at $n = 100 \text{ min}^{-1}$.



а)



б)

Рис. 5. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності $T = f(n, T_0)$ при $\alpha = 20^\circ$.

Fig. 5. Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) dependence $T = f(n, T_0)$ at $\alpha = 20^\circ$.

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 рази) 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

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

2. 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, за допомогою якого отримано регресійну залежність із встановлення впливу кута нахилу шнека до горизонту α , частоти його обертання n , та часу зростання моменту опору T_0 на момент спрацювання запобіжної муфти.

3. Факторне поле визначалося таким діапазоном зміни параметрів: $0^\circ < \alpha < 40^\circ$; $50 < n < 150 \text{ об/хв}$; $0,2 < T_0 < 0,7 \text{ с}$.

4. Встановлено, що найбільший вплив на величину крутного моменту T має n (зміна n викликає зростання T у 2,14 рази). Далі за інтенсивністю впливу на T є значення α (зміна α викликає зростання T у 1,98 рази) та найменший вплив на величину T має T_0 (зміна T_0 викликає падіння T у 1,17 рази).

Список літератури

1. Pylypaka S. F., Nesvidomin V. M., Klendii M. B., Rogovskii I. L., Kresan T. A., Trokhaniak V. I. Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 2019. Vol. 95. Issue 3. P. 108-118. doi 10.31489/2019M2/108-119.
2. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 2020. Vol. 60. No 4, P. 313-317. <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0313>.
3. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohiienko M. M., Kulik V. P. Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 60. No 1. P. 45-52. doi: 10.35633/INMATEH-60-05.
4. Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., Trokhaniak O., Stepanenko S. Experimental study in a pneumatic microbioculture separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering, 2019. Vol. 12 (1). P. 117-128.
5. Trokhaniak V. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Dziubata Z. I., Luzan P. H., Popyk P. S. Using CFD simulation to investigate the impact of fresh air valves on poultry house aerodynamics in case of a side ventilation system. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 62. No 3. P. 155-164. doi: <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-16>.
6. Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., Trokhaniak O., Stepanenko S. Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2020. Vol. 13 (62). No 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.11>. P. 117-128.
7. Гевко Р. Б., Клендій О. М. Запобіжний пристрій. Патент №71785, МПК F16D 7/00, заявник і власник патенту Тернопільський національний економічний університет. № u201200608; заявл. 19.01.2012; опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14.
8. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. 2019. Vol. 57. No 1. P. 141-146.
9. Гевко Р. Б., Клендій О. М. Підвищення надійності функціонування гвинтових конвеєрів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2011. Вип. 114. С. 168-172.
10. Гевко Р. Б., Клендій О. М. Результати експериментальних досліджень кулькового запобіжного пристрою шнекового транспортера. Вісник інженерної академії України. 2014. № 3-4. С. 236-241.

References

1. Pylypaka S. F., Nesvidomin V. M., Klendii M. B., Rogovskii I. L., Kresan T. A., Trokhaniak V. I. (2019). Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 95(3). 108-118. doi 10.31489/2019M2/108-119.
2. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. (2020). External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 60(4). 313-317. <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0313>.
3. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohiienko M. M., Kulik V. P. (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 60(1). 45-52. doi: 10.35633/INMATEH-60-05.
4. Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., Trokhaniak O., Stepanenko S. (2019). Experimental study in a pneumatic microbioculture separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 12(1). 117-128.
5. Trokhaniak V. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Dziubata Z. I., Luzan P. H., Popyk P. S. (2020). Using CFD simulation to investigate the impact of fresh air valves on poultry house aerodynamics in case of a side ventilation system. INMATEH. Agricultural Engineering. 62(3). 155-164. doi: <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-16>.
6. Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., Trokhaniak O., Stepanenko S. (2020). Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 13 (62-1). <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.11>. 117-128.
7. Hevko R. B., Klendii O. M. (2012). Safety device. Pat. №71785, IPC F16D 7/00, applicant and patent owner Ternopil National Economic University. № u201200608; Application 19.01.2012; Publ. 25.07.2012, Bull. № 14.
8. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Solomka O. V., Popyk P. S., Shvidia V. O., Stepanenko S. P. (2019). Experimental studies of drying conditions of grain crops with high moisture content in low-pressure environment. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. 57(1). 141-146.
9. Hevko R. B., Klendii O. M. (2011). Improving the reliability of the operation of screw conveyors. Bulletin of the Petro Vasilenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv. 114. 168-172.
10. Hevko R. B., Klendii O. M. (2014). The results of experimental studies of the ball safety device of the screw conveyor. Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. Kyiv. (3-4). 236-241.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИЗМЕНЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА РАБОТЫ
ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ

А. Н. Троханяк

Аннотация. В статье представлена конструкция предохранительной муфты, которая дает

возможность повысить эффективность функционирования винтовых конвейеров в экстремальных условиях эксплуатации. Разработан и изготовлен экспериментальный стенд для определения оптимальных параметров и режимов работы винтового конвейера с предохранительной муфтой при перегруженном рабочем органе. Для определения значения влияния таких факторов, как угол наклона рабочего органа к горизонту, частота вращения рабочего органа и время рост момента сопротивления на величину крутящего момента на приводном валу, который возникает при перемещении сыпучего или кускового материала, проведения многофакторный эксперимент. По результатам исследований для наглядного отображения результатов построены зависимости поверхностей отклика параметра оптимизации и их двухмерное сечение.

Ключевые слова: винтовой конвейер, шнек, муфта, канавка, крутящий момент.

INVESTIGATIONS RESULTS OF CHANGE IN TORQUE OF WORK OF SAFETY CLUTCH

O. M. Trokhaniak

Abstract. In the article the overload clutch design, which makes it possible to increase the efficiency of screw conveyors in extreme conditions. A test bench has been developed and made in order to determine the optimum engineering data and operation conditions of a screw conveyor if an operating device is overloaded. In order to determine the intensity of the influence of such factors as a slope angle of an operating device relative to a horizon, the frequency of the rotation of an operating device and the rate of increase in the moment of resistance on the value of a torque of on a drive shaft, which arises when moving bulk and lump cargo a multifactor experiment has been conducted. As a result of the calculations the dependencies of the response surfaces of the optimization parameter and the two-dimensional section of response surfaces for the visual display of the results of the experimental investigation.

Key words: screw conveyer, screw, clutch, groove, torque.

О. М. Троханяк ORCID 0000-0002-4671-5824.