

УДК: 621.86 DOI 10.36910/6775.24153966.2019.67.6

В.З. Гудь, А.І. Пік, М.Г. Левкович, В.В. Гупка

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВЕЛИЧИНИ КРУТНОГО МОМЕНТУ ПРИ ПЕРЕВАНТАЖЕННІ ТЕЛЕСКОПІЧНИМ ГВИНТОВИМ ТРАНСПОРТЕРОМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВАНТАЖІВ

Розроблено експериментальне обладнання для проведення досліджень телескопічних гвинтових транспортерів, з допомогою якого проведено дослідження даного конвеєра згідно розроблених методик. В результаті проведених досліджень було встановлено, що найбільшою проблемою в телескопічних гвинтових транспортерах є збереження однакового зазору між кожухом та спіраллю в різних секціях телескопа. Для визначення впливу конструктивних і кінематичних параметрів телескопічного гвинтового транспортера на крутний момент приводу шнека під час транспортування кукурудзи, пшениці та комбікорму проведено повнофакторні експерименти. Було визначено величину крутного моменту на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу транспортера. Виведено рівняння регресії крутного моменту залежно від зміни частоти обертання шнека, довжини видовження шнека, кута нахилу транспортера. Результати експериментальних досліджень величини крутного моменту при перевантаженні телескопічним гвинтовим транспортером показали, що основними факторами, які впливають на збільшення крутного моменту на приводі, є частота обертання шнека і довжина його видовження, а також комбінація цих факторів.

Ключові слова: експеримент, телескопічний, транспортер, гвинтовий конвеєр, транспортування, механізм, рівняння, обертання, матеріал

В.З. Гудь, А.И. Пик, М.Г. Левкович, В.В. Гупка

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕЛИЧИНЫ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМ ВИНТОВЫМ ТРАНСПОРТЕРОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГРУЗОВ

Разработано экспериментальное оборудование для проведения исследований телескопических винтовых транспортеров, с помощью которого проведено исследование данного конвейера согласно разработанных методик. В результате проведенных исследований было установлено, что самой большой проблемой в телескопических винтовых транспортерах является сохранение одинакового зазора между кожухом и спиралью в различных секциях телескопа. Для определения влияния конструктивных и кинематических параметров телескопического винтового транспортера на крутящий момент привода шнека при транспортировке кукурузы, пшеницы и комбикорма проведения полнофакторные эксперименты. Было определено величину крутящего момента на приводе шнека телескопического винтового транспортера от изменения трех основных факторов: частоты вращения шнека, длины удлинения шнека и угла наклона транспортера. Выведено уравнение регрессии крутящего момента в зависимости от изменения частоты вращения шнека, длины удлинения шнека, угла наклона транспортера. Результаты экспериментальных исследований величины крутящего момента при перегрузке телескопическим винтовым транспортером показали, что основными факторами, влияющими на увеличение крутящего момента на приводе, есть частота вращения шнека и длина его удлинения, а также комбинация этих факторов.

Ключевые слова: эксперимент, телескопический, транспортер, винтовой конвейер, транспортировка, механизм, уравнения, вращения, материал.

V. Hud, A. Pik, M. Levkovich, V. Gypka

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TORQUE SIZE WHEN THE TELESCOPIC SCREW TRUCK IS TRACKED

Experimental equipment for carrying out researches of telescopic screw conveyors was developed. Studies have shown that the biggest problem in telescopic screw conveyors is to maintain the same clearance between the casing and the spiral in different sections of the telescope, which significantly affects the time of rolling and rolling the axially moving part of the auger fixed. It has also been found that the overload performance of agricultural goods by telescopic screw conveyor does not differ from the overload performance of these materials by traditional screw conveyors. To determine the effect of structural and kinematic parameters of the telescopic screw conveyor on the torque of the auger drive during transportation of corn, wheat and mixed feed, full-factorial experiments were performed. The magnitude of the torque on the drive of the screw of the telescopic screw conveyor was determined from the change of three main factors: the speed of the screw, the length of the auger and the angle of the conveyor. The equation of torque regression is deduced depending on the change in the speed of the screw, the length of the elongation of the screw, the angle of inclination of the conveyor. The results of experimental studies of torque overload with a telescopic screw conveyor showed that the main factors that influence the increase in torque on the actuator are the speed of the auger and its length, as well as a combination of these factors.

Keywords: experiment, telescopic, conveyor, screw conveyor, transportation, mechanism, equation, rotation, material.

Постановка проблеми. Гвинтові транспортно-технологічні системи використовуються у різних галузях народного господарства для транспортування, змішування і необхідного

перетворення сільськогосподарських, будівельних матеріалів, харчових та фармацевтичних продуктів, металевої стружки тощо. Особливо широко їх використовують у якості елементів сільськогосподарських машин і механізмів при перевантаженні сільськогосподарських вантажів в польових умовах. Проте ці транспортери у складі універсальних агрегатів для завантаження сівалок, бункерах-перевантажувачах та зернозбиральних комбайнах виконуються, як правило складними і передбачають розкладення-складення з допомогою гідро- чи пневмо- устаткування, що робить їх конструкції надто складними і дорогими.

Тому з метою здешевлення та спрощення конструкцій, а також забезпечення необхідної траєкторії перевантаження матеріалу гвинтовими транспортерами актуальним є питання пошуку прогресивних конструкцій гвинтових конвеєрів із специфічними характеристиками. До таких механізмів належать телескопічні гвинтові транспортери, які забезпечують перевантаження матеріалу на необхідну відстань при здешевленні та спрощенні конструкції, у порівнянні з існуючими аналогами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробленню конструкцій стендового обладнання для дослідження різноманітних гвинтових транспортерів і їх дослідженню присвячені праці Турпаєва А.І. [1], Сисоліна В.П. [2], Григор'єва А.М. [3], Гевка Б.М. [4], Рогатинського Р.М. [5], Гевка І.Б., Ляшука О.Л. [6, 7], та інших. Проте цілий ряд питань, які стосуються дослідження їх характеристик, таких як продуктивності та питомих енерговитрат в залежності від різних параметрів, потребують свого подальшого вивчення особливо для новостворених конструктивних рішень.

Постановка завдань. В роботі поставлено мету –експериментальне дослідження величини крутного моменту при перевантаженні телескопічним гвинтовим транспортером сільськогосподарських вантажів.

Викладення основного матеріалу. Досить часто для отримання значної траси перевантаження матеріалів гвинтовими конвеєрами шнекові конвеєри виконуються складним. Тому використання принципу телескопу в шнекових конвеєрах матиме широке застосування в конструкціях різноманітних машин і механізмів оснащених гвинтовими транспортерами.

Для проведення експериментальних досліджень телескопічних гвинтових транспортерів на основі проведеного патентного пошуку та аналізу наукових літературних джерел і проведеного синтезу [8] було розроблено і запатентовано ряд конструкцій гвинтових телескопічних конвеєрів, які стали основою для проектування та виготовлення дослідного стенда (рис. 1 - рис. 2).

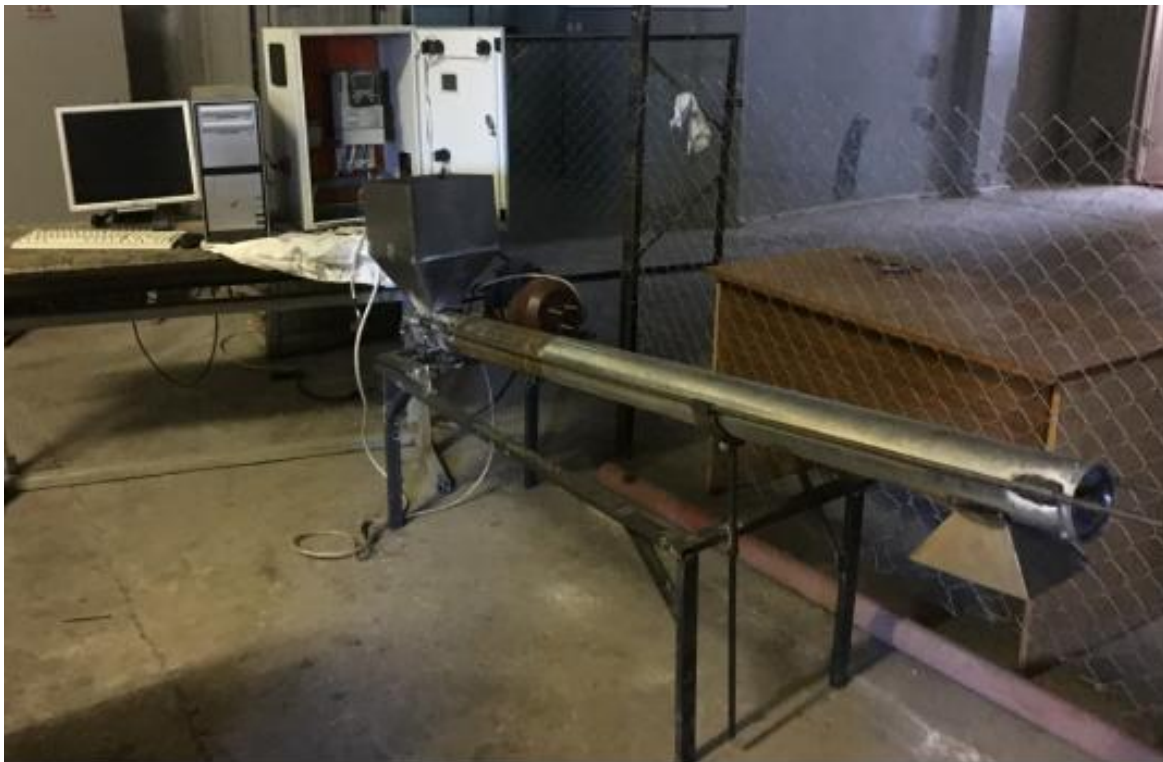


Рис. 1 Стенд для дослідження характеристик телескопічних гвинтових транспортерів

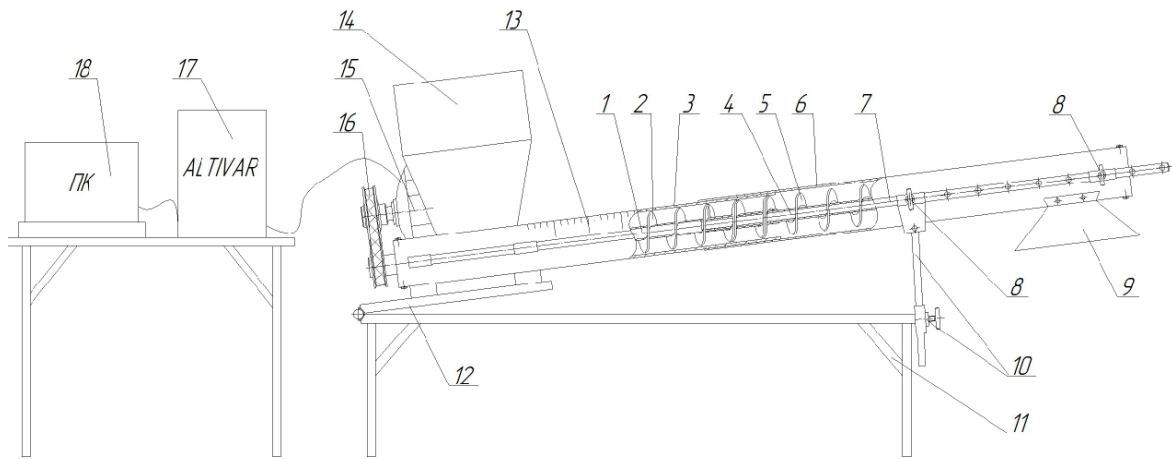


Рис.2 Конструктивна схема стелу для дослiдження характеристик телескопiчних гвинтових транспортерiв:

1 - нерухома в осьовому напрямку секція гвинта; 2 - шнек нерухомої в осьовому напрямку секції гвинта; 3 - нерухома в осьовому напрямку частина кожуха; 4 - рухома в осьовому напрямку секція гвинта; 5 - шнек рухомої в осьовому напрямку секції гвинта; 6 - рухома в осьовому напрямку частина кожуха; 7 - направляючі; 8 - фіксатори направляючих; 9 - вивантажувальний патрубок; 10 - опора регулювання висоти подачі матеріалу; 11 - рама; 12 - рухомий стіл; 13 - шкала перекидання шнеків; 14 - бункер; 15 - електропривід транспортера; 16 - пасова передача; 17 - перетворювач частоти обертання приводу; 18 – персональний комп'ютер

При виконанні досліджень на розробленому стелді завдяки програмі Power Suite можна змінювати: плавно і різко частоту обертання шнека від 0 до 1400 об/хв.; кут нахилу телескопiчного гвинтового конвеєра відносно горизонту від 0 до 90 градусiв; забезпечувати обертання шнека в реверсному напрямі. В процесі проведення випробувань фіксація даних проводиться із наперед заданою частотою, і вони відображаються на моніторі ПК у вигляді табличних даних та графічних залежностей у процентному співвідношенні до номінальної потужності.

В дослідній установці зовнішній діаметр шнека становить 97 мм; внутрішній діаметр нерухомого патрубку - 100 мм; зовнішній - 107 мм; внутрішній діаметр рухомого патрубку - 109 мм. Рухомий патрубок виконано із оцинкованого листа, а тому він містить з'єднувальний шов і овальності та нерівності по усій довжині, що впливало на швидкість скручування і розкручування телескопiчної частини гвинтового транспортера.

З допомогою виготовленого стелу можливе дослідження: процесу викочування (вигвинчування) рухомої в осьовому напрямку частини шнека з нерухомої; процесу закручування (вгвинчування) рухомої в осьовому напрямку частини шнека на нерухому; продуктивності телескопiчного гвинтового конвеєра при транспортуванні сипких вантажів при різній частоті обертання шнека; величини крутного моменту при перевантаженні сипких вантажів при різній частоті обертання шнека; витрат потужності при транспортуванні сипких вантажів при різній частоті обертання шнека.

В процесі досліджень було встановлено, що найбільшою проблемою в телескопiчних гвинтових транспортерах є збереження однакового зазору між кожухом та спіраллю в різних секціях телескопа. Встановлено, що продуктивність перевантаження сільськогосподарських вантажів телескопiчним гвинтовим транспортером не відрізняється від продуктивності перевантаження цих матеріалів традиційними гвинтовими конвеєрами.

Для визначення впливу конструктивних і кінематичних параметрів (незалежних факторів x_i) телескопiчного гвинтового транспортера на крутний момент приводу шнека під час транспортування кукурудзи, пшениці та комбікорму (параметр оптимізації T) проведено повнофакторні експерименти, тобто визначення величини крутного моменту на приводі шнека телескопiчного гвинтового транспортера від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека n , довжини видовження шнека l та кута нахилу транспортера γ , тобто $T=f(n, l, \gamma)$.

Оброблення отриманих експериментальних даних проведено з використанням загальновідомих методик регресійного аналізу. Для отримання регресійних моделей параметрів оптимізації, вибирали відповідний план повнофакторного експерименту.

Функцію відгуку, тобто крутний момент на приводі шнека $T=f(n_{ш},l,\gamma)$, визначену експериментальним шляхом, представлено у вигляді математичної моделі повного квадратичного полінома. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

Побудову даної таблиці проведено наступним чином. Вхідними змінними факторами ПФЕ 3³ прийнято:

- частота обертання шнека $n_{ш}$, яку кодували індексом x_1 ;
- довжина видовження шнека l , яку кодували індексом x_2 ;
- кут нахилу транспортера γ , який кодували індексом x_3 .

Після кодування вхідних факторів склали план-матриці повного факторного експерименту типу ПФЕ 3³ для загальної кількості дослідів $N_1 = P^k$, де P – кількість рівнів варіювання, k – кількість вхідних факторів у експерименті.

Таблиця 1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні крутного моменту на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Частота обертання шнека	$n_{ш}$, об/хв	x_1	200	700 (+1)	500 (0)	300 (-1)
Довжина видовження шнека	l , м	x_2	0,14	1,61 (+1)	1,47 (0)	1,33 (-1)
Кут нахилу транспортера	γ , град	x_3	20	45 (+1)	25 (0)	5 (-1)

Крутний момент заміряли за допомогою пристроїв і способів, описаних вище. Для кожного з незмінних факторів експеримент проводився не менше 3 разів, після чого визначалося середнє значення результату, яке використовувалося для подальшого статистичного оброблення результатів експерименту.

Виведені рівняння регресії крутного моменту залежно від зміни частоти обертання шнека $n_{ш}$, довжини видовження шнека l , кута нахилу транспортера γ , тобто $T_{(x_1,x_2,x_3)} = f(n_{ш},l,\gamma)$ за результатами проведених ПФЕ 3³ у кодованих величинах мають наступний вигляд:

- під час транспортування кукурудзи:

$$T_{(n_{ш},l,\gamma)} = -12,91 + 1,18 \cdot 10^{-2} n_{ш} + 17,83l + 3,8 \cdot 10^{-2} \gamma - 4,46 \cdot 10^{-3} n_{ш}l + 2,9 \cdot 10^{-6} n_{ш}^2 - 1,73l^2 - 4,6 \cdot 10^{-4} \gamma^2; \quad (1)$$

- під час транспортування пшениці:

$$T_{(n_{ш},l,\gamma)} = -13,59 + 1,23 \cdot 10^{-2} n_{ш} + 18,77l + 3,99 \cdot 10^{-2} \gamma - 4,68 \cdot 10^{-3} n_{ш}l + 3,05 \cdot 10^{-6} n_{ш}^2 - 1,84l^2 - 4,83 \cdot 10^{-4} \gamma^2; \quad (2)$$

- під час транспортування комбікорму:

$$T_{(n_{ш},l,\gamma)} = -11,53 + 1,05 \cdot 10^{-2} n_{ш} + 15,95l + 3,412 \cdot 10^{-2} \gamma - 4 \cdot 10^{-3} n_{ш}l + 2,63 \cdot 10^{-6} n_{ш}^2 - 1,53l^2 - 4,12 \cdot 10^{-4} \gamma^2. \quad (3)$$

Отримані рівняння регресії (1–3) можуть бути використані для визначення крутного моменту на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера T залежно від частоти обертання шнека $n_{ш}$, довжини видовження шнека l та кута нахилу транспортера γ для транспортування кукурудзи, ячменю та комбікорму у таких межах зміни вхідних факторів:

$$300 \leq n_{ш} \leq 700 \text{ (об/хв)}; 1,33 \leq l \leq 1,61 \text{ (м)}; 5 \leq \gamma \leq 45 \text{ (град)}.$$

За допомогою програмного забезпечення Statistica-6.0 для ПК побудували графічне відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів крутного моменту T як функцію від двох змінних факторів $x_{i(1,2)}$ за постійного незмінного рівня відповідного третього фактора $x_{i(3)} = const$.

Аналіз наведених регресійних рівнянь показує, що основними факторами, які впливають на збільшення крутного моменту на приводі є: фактори $x_1, x_2, (n_{ш}, l)$ та комбінації цих факторів.

В загальному для зменшення крутного моменту необхідно зменшувати частоту обертання шнека та зменшувати кут нахилу транспортера.

Графічні значення результатів залежності крутного моменту, одержаного з використанням Mathcad 2000 Professional, наведено на рис. 3 і 4.

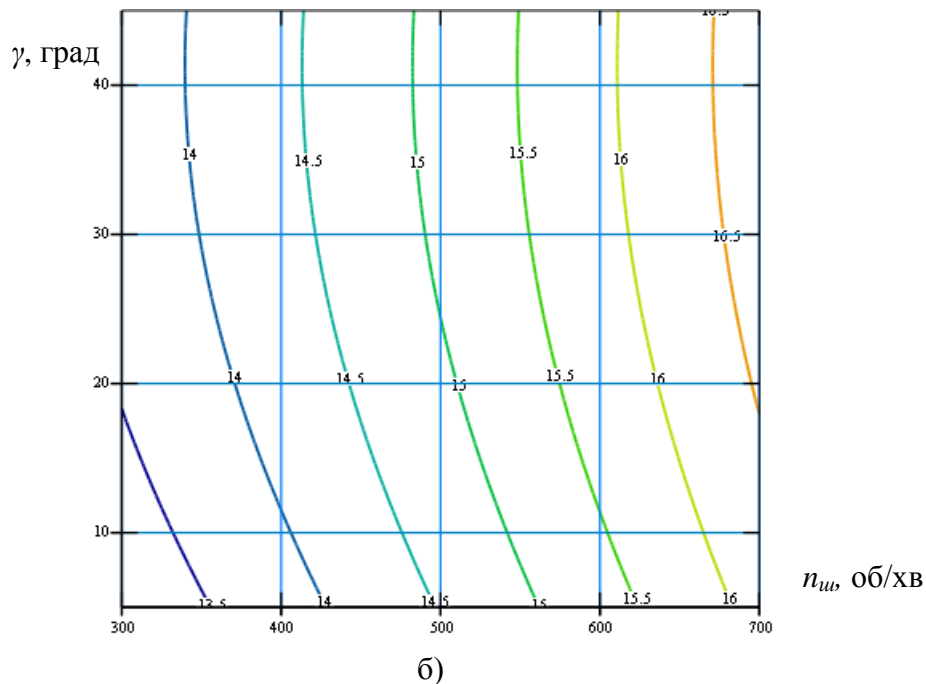
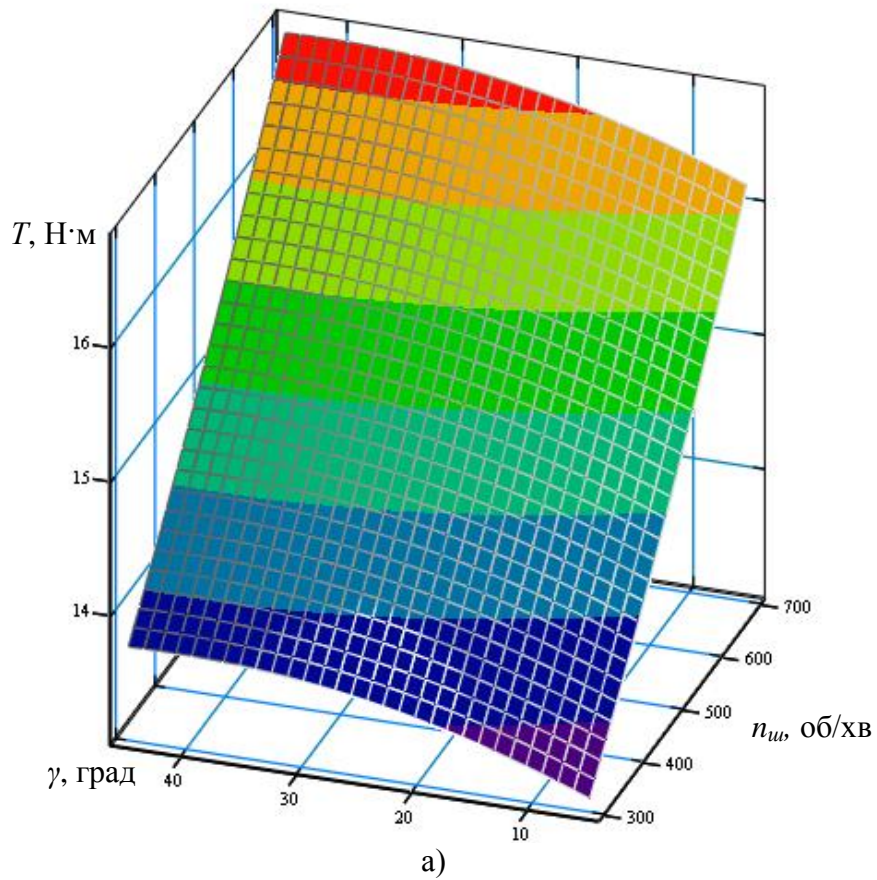


Рис. 3. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини крутного моменту від частоти обертання шнека та кута нахилу транспортера ($l=1,61$ м) під час транспортування кукурудзи

З рисунків 3 і 4 та на основі аналізу рівнянь регресії (1 - 3) видно, що із збільшенням частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового транспортера величина крутного моменту на приводі шнека зростає, при чому найбільший крутний момент 17,51 Н·м досягається під час транспортування пшениці. Максимальний крутний момент на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера для транспортування кукурудзи та комбікорму складає 16,75 Н·м та 15,02 Н·м відповідно, а мінімальний – 9,94 Н·м та 8,93 Н·м відповідно. Збільшення частоти обертання шнека $n_{ш}$ від 300об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення крутного моменту на приводі шнека до 35%. При цьому збільшення кута нахилу транспортера від 5 до 45 град. надає приросту крутного моменту до 4,1%, а збільшення довжини видовження шнека від 1,33 до 1,61 м призводить до зростання крутного моменту на 24,4%.

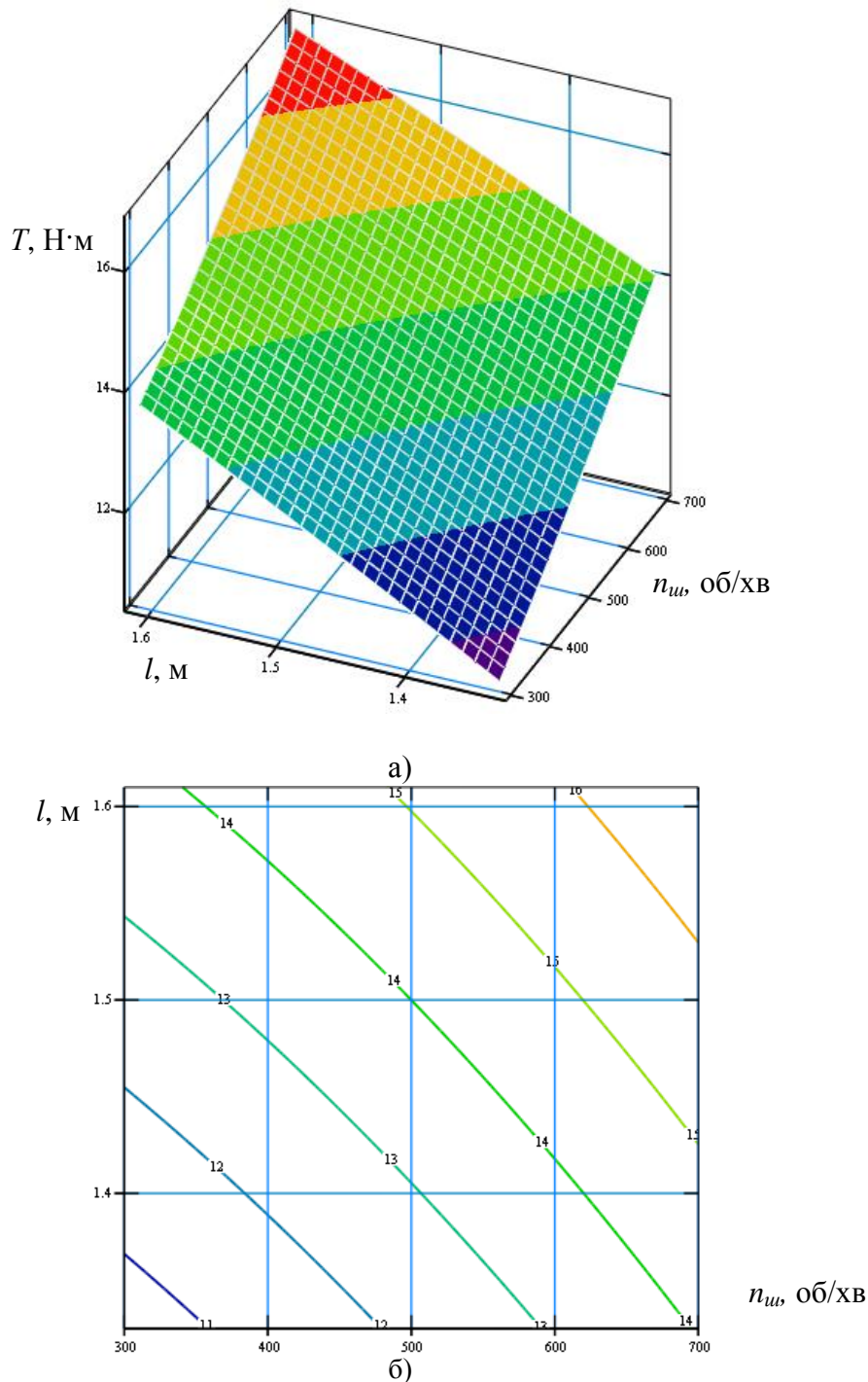


Рис.4. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини крутного моменту від частоти обертання шнека та довжини видовження шнека ($\gamma=45$ град) під час транспортування кукурудзи

Висновки.

1. В процесі досліджень було встановлено, що найбільшою проблемою в телескопічних гвинтових транспортерах є збереження однакового зазору між кожухом та спіраллю в різних секціях телескопа.

2. Встановлено, що продуктивність перевантаження сільськогосподарських вантажів телескопічним гвинтовим транспортером не відрізняється від продуктивності перевантаження цих матеріалів традиційними гвинтовими конвеєрами.

3. Виведені рівняння регресії крутного моменту залежно від зміни частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового телескопічного транспортера.

4. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що із збільшенням частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового транспортера величина крутного моменту на приводі шнека зростає, при чому найбільший крутний момент 17,51 Н·м досягається під час транспортування пшениці. Максимальний крутний момент на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера для транспортування кукурудзи та комбікорму складає 16,75 Н·м та 15,02 Н·м відповідно, а мінімальний – 9,94 Н·м та 8,93 Н·м відповідно. Збільшення частоти обертання шнека $n_{ш}$ від 300об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення крутного моменту на приводі шнека до 35%. При цьому збільшення кута нахилу транспортера від 5 до 45 град. надає приросту крутного моменту до 4,1%, а збільшення довжини видовження шнека від 1,33 до 1,61 м призводить до зростання крутного моменту на 24,4%.

Список використаних джерел:

1. Турпаев А. И. Винтовые механизмы и передачи [Текст] / А. И. Турпаев. – М. : Машиностроение, 1982. - 223с.
2. Сисолін В. П. Сільськогосподарські машини. Теоретичні основи. Конструкція і проектування [Текст] / В. П. Сисолін – К. : Урожай, 2001. – 382с.
3. Григорев А. М. Винтовые конвейеры. [Текст] / А. М. Григорев. - М. : Машиностроение, 1972. - 184с.
4. Гевко Б. М. Механізми з гвинтовими пристроями [Текст] / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатинський. – Львів: Світ, 1993. – 208с.
5. Рогатинський Р. М. та інші Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів. / Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дячун А. Е., Тернопіль, 2014. – 280 с.
6. Investigation of the stability of the torsorial vibrations of a screwconveyer under the influence of pulse forces // [I.B. Nevko, A.Ye. Dyachun, V.Z. Hud, L.R. Rohatynska, V.M. Klendiy] – INMATEH – Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, 2015, - Vol. 45, № 1, с.77-86.
7. Resonant oscillation of vertical working part of conveyer-loader / Karaganda State University Publishing house // [I. Nevko, O. Lyashuk, M. Sokil, L. Slobodian, V. Hud, Yu. Vovk] – Karaganda, 2019. - № 2 (94) – Ст. 73-81.
8. Гевко І.Б., Гудь В.З., Шуст І.М., Мельничук А.Л. Синтез телескопічних гвинтових конвеєрів. // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві» – 2016. – Випуск №168, С. 85-91.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2019