Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, 127-132
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.03.127-132

УДК 621.86

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИТРАТ ПОТУЖНОСТІ ПРИ ПЕРЕВАНТАЖЕННІ ТЕЛЕСКОПІЧНИМ ГВИНТОВИМ ТРАНСПОРТЕРОМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВАНТАЖІВ

В. З. Гудь

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: vic_g@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.
Бібл. 8, рис. 3, табл. 1.

Анотація. Розроблено експериментальне обладнання для проведення досліджень телескопічних гвинтових транспортерів, з допомогою якого проведено дослідження даного конвеєра згідно розроблених методик. Для визначення впливу конструктивних і кінематичних параметрів телескопічного гвинтового транспортера на витрати потужності на приводі шнека під час транспортування кукурудзи, пшениці та комбікорму проведено повнофакторні експерименти. Було визначено величину витрат потужності на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера від зміни трьох основних факторів: частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу транспортера. Виведено рівняння регресії витрат потужності залежно від зміни частоти обертання шнека, довжини видовження шнека, кута нахилу транспортера. Результати експериментальних досліджень величини витрат потужності 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: телескопічний гвинтовий конвеєр, транспортер, шнек, потужність, обертання, крутний момент, транспортування.

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 пнемо- 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

Розробленню конструкцій стендового обладнання для дослідження різноманітних гвинтових транспортерів і їх дослідженню присвячені праці Турпаєва А.І. [1], Сисоліна В.П. [2], Григорьєва 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.

Мета досліджень

Метою роботи є експериментальне дослідження величини витрат потужності при перевантаженні телескопічним гвинтовим транспортером сільськогосподарських вантажів.

Результати досліджень

Часто для отримання значної траси перевантаження матеріалів гвинтовими транспортерами в сільськогосподарській техніці шнеки виконують складними (рис. 1) і для досягнення необхідної відстані

перевантаження вони розкладаються-складаються з допомогою гідро чи пнемо устаткування, що робить конструкції універсальних агрегатів-перевантажувачів громісткими та ускладненими. Тому використання принципу телескопу в гвинтових транспортерах матиме широке застосування в конструкціях різноманітних сільськогосподарської техніки оснащеної гвинтовими транспортерами.

а) універсальний агрегат при завантаженні сівалки

a) universal unit when loading the seeder

б) універсальний бункер-перевантажувач фірми «EGRITECH»

b) universal hopper-reloader of the company «EGRITECH»

в) універсальний перевантажувач фірми «Лилиани МВА»

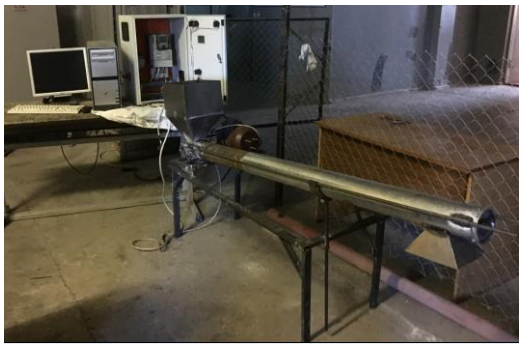
c) universal reloader of the company «Liliani MBA»

г) зернозбиральні комбайни CASE 8120 AXIAL FLOW та New Holland CR10.90

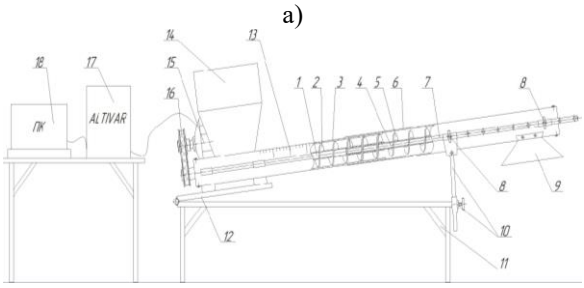
d) combine harvesters CASE 8120 AXIAL FLOW and New Holland CR10.90

Рис. 1. Конструкції сільськогосподарської техніки з шнеками.

Fig. 1. Agricultural machinery designs with screws.



а)



б)

Рис. 2. Стенд для дослідження характеристик телескопічних гвинтових транспортерів: а) загальний вигляд; б) конструктивна схема; 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 перекривання шнеків; 14 - бункер; 15 - електропривід транспортера; 16 - пасова передача; 17 - перетворювач частоти обертання приводу; 18 - персональний комп'ютер.

Fig. 2. Stand to study the characteristics of telescopic screw conveyors: a) general view; b) structural scheme; 1 - axial motion of the screw section; 2 - a screw axial motion in the axial direction of the screw section; 3 - part of the casing is fixed in the axial direction; 4 - axial movement of the screw section; 5 - a screw moving in the axial direction of the screw section; 6 - a part of the casing moving in the axial direction; 7 - guides; 8 - catches of guides; 9 - discharge nozzle; 10 - support for adjusting the height of the material; 11 - frame; 12 - mobile table; 13 - Scale of overlapping screws; 14 - bunker; 15 - electric drive of the conveyor; 16 - belt drive; 17 - converter of frequency of rotation of the drive; 18 - personal computer

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. 2).

При виконанні досліджень на розробленому стенді завдяки програмі PowerSuite можна змінювати: плавно і різко частоту обертання шнека від 0 до 1400 об/хв.; кут нахилу телескопічного гвинтового конвеєра відносно горизонту від 0 до 90 градусів; 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 патрубка - 100 мм; зовнішній - 107 мм; внутрішній діаметр рухомого патрубка - 109 мм. Рухомий патрубок виконано із оцинкованого листа, а тому він містить з'єднювальний шов і овальності та нерівності по усій довжині, що впливало на швидкість скручування і розкручування телескопічної частини гвинтового транспортера.

З допомогою виготовленого стенду можливе дослідження: процесу викочування (вигвинчування) рухомої в осьовому напрямку частини шнека з нерухомої; процесу закочування (вгвинчування) рухомої в осьовому напрямку частини шнека на нерухому; продуктивності телескопічного 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.

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

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 величини витрат потужності на приводі шнека $N=f(n_ш,l,\gamma)$, 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 3^3 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 складали планматриці повного факторного експерименту типу ПФЕ 3^3 для загальної кількості дослідів $N_1 = P^k$, де P – кількість рівнів варіювання, $к$ – кількість вхідних факторів у експерименті.

Таблиця 1. Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні витрат потужності на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера.

Table 1. The results of coding factors and the level of their variation in the study of power consumption on the screw drive of a telescopic screw conveyor.

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)

Витрати потужності 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 використовувалось для подальшого статистичного оброблення результатів експерименту.

Виведені рівняння регресії витрат потужності залежно від зміни частоти обертання шнека $n_ш$, довжини видовження шнека l, кута нахилу транспортера γ, тобто $N_{(x_1,x_2,x_3)} = f(n_ш,l,\gamma)$ за результатами проведених ПФЕ 3^3 у кодованих величинах мають наступний вигляд:

- під час транспортування кукурудзи:

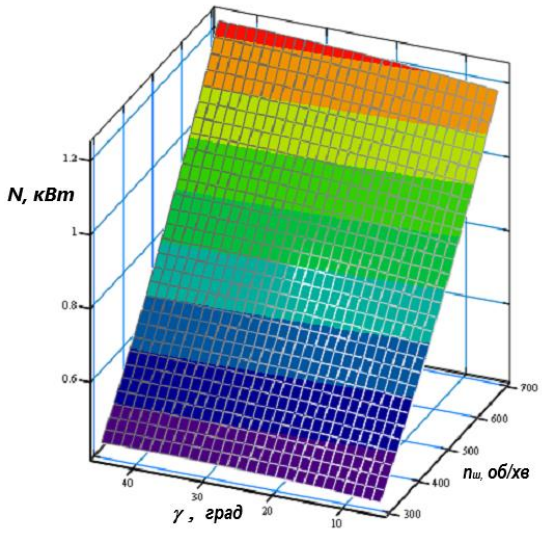
$$N_{(n_ш,l,\gamma)} = -2,22\cdot10^{-2} - 4,94\cdot10^{-4}n_ш - 2,76\cdot10^{-2}l + 9,25\cdot10^{-4}\gamma + \\ +9,29\cdot10^{-4}n_ш l + 1,58\cdot10^{-6}n_ш\gamma + 9,25\cdot10^{-7}n_ш^2 + 3,37\cdot10^{-2}l^2 - 1,83\cdot10^{-5}\gamma^2; \quad (1)$$

- під час транспортування пшениці:

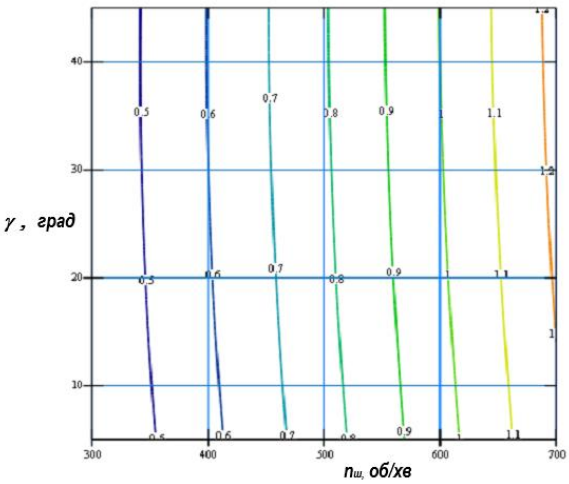
$$N_{(n_ш,l,\gamma)} = -2,13\cdot10^{-2} - 5,09\cdot10^{-4}n_ш - 2,85\cdot10^{-2}l + 9,38\cdot10^{-4}\gamma + \\ +9,64\cdot10^{-4}n_ш l + 1,65\cdot10^{-6}n_ш\gamma + 9,75\cdot10^{-7}n_ш^2 + 3,52\cdot10^{-2}l^2 - 1,93\cdot10^{-5}\gamma^2; \quad (2)$$

- під час транспортування комбікорму:

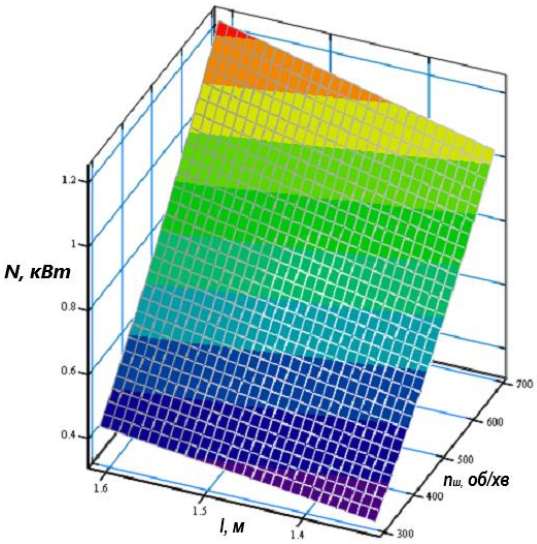
$$N_{(n_ш,l,\gamma)} = -2,68\cdot10^{-2} - 4,18\cdot10^{-4}n_ш - 2,06\cdot10^{-2}l + 8,25\cdot10^{-4}\gamma + \\ +8,21\cdot10^{-4}n_ш l + 1,4\cdot10^{-6}n_ш\gamma + 8,25\cdot10^{-7}n_ш^2 + 3,01\cdot10^{-2}l^2 - 1,65\cdot10^{-5}\gamma^2. \quad (3)$$



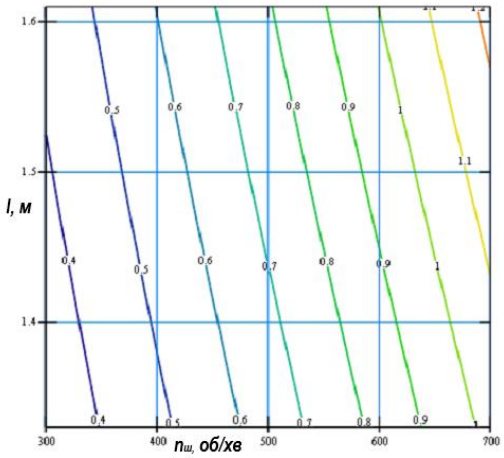
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Поверхня відгуку (а, в, д) та двомірний переріз поверхні відгуку (б, г, е) залежності величини витрат потужності на приводі телескопічного гвинтового конвеєра під час перевантаження кукурудзи від: а), б) $n_ш$ і γ при l = 1,61 м; в), г) $n_ш$ і l при γ = 45 град.

Fig. 3. Response surface and two-dimensional cross-section of the response surface of the dependence of the amount of power consumption on the drive of a telescopic screw conveyor for corn overload.

Отримані рівняння регресії (1 – 3) можуть бути використані для визначення витрат потужності на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера N 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:

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

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 витрат потужності N 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. Збільшення величини фактора x_3 (γ) призводить до підвищення потужності на 4,2%. При цьому збільшення величини фактора x_2(l) призводить до збільшення потужності на 9,8%.

В загальному для зменшення витрат потужності необхідно зменшувати частоту обертання шнека, його довжину та зменшувати кут нахилу транспортера.

Графічні значення результатів залежності крутного моменту, одержаного з використанням Mathcad 2000 Professional, наведено на рис. 3. З рисунків та на основі аналізу рівнянь регресії видно, що із збільшенням частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового транспортера величина потужності на приводі шнека зростає, при чому найбільша потужність 1,29 кВт досягається під час транспортування пшениці. Максимальна потужність на приводі шнека телескопічного гвинтового транс-

портера для транспортування кукурудзи та комбікорму складає 1,23 кВт та 1,10 кВт відповідно, а мінімальна – 0,31 кВт та 0,28 кВт відповідно. Збільшення частоти обертання шнека $n_ш$, від 300 об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі шнека в 3,14 рази.

Висновки

1. Виведено рівняння регресії витрат потужності залежно від зміни частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового телескопічного транспортера.

2. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що із збільшенням частоти обертання шнека, довжини видовження шнека та кута нахилу гвинтового транспортера величина потужності на приводі шнека зростає, при чому найбільша потужність 1,29 кВт досягається під час транспортування пшениці. Максимальна потужність на приводі шнека телескопічного гвинтового транспортера для транспортування кукурудзи та комбікорму складає 1,23 кВт та 1,10 кВт відповідно, а мінімальна – 0,31 кВт та 0,28 кВт відповідно. Збільшення частоти обертання шнека $n_ш$, від 300 об/хв. до 700 об/хв. призводить до підвищення потужності на приводі шнека в 3,14 рази.

Список літератури

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

References

1. *Tyrpaev A. I.* (1982). Screw mechanisms and gears. Moscow, USSR.
2. *Sysolin V. P.* (2001). Agreecultural machines. Agreecultural equipment. Theoretical basis. Construction and design. Urogaj, Kyiv, Ukraine.
3. *Grigorjev A. M.* (1972). Screw conveyors. Moscow, USSR.
4. *Hevko B. M.* (1993). Mechanisms with screw devices, Svit, Lviv, Ukraine.
5. *Rjushin, V. T.* (1986). Research of working process and development of a method of calculation of cars of roller formation of concrete mixes. (Unpublished candidate thesis). Kyiv construction institute, Kyiv, USSR.
6. *Hevko I. B., Dyachun A. Ye., Hud V. Z., Rohatynska L. R., Klendiy V. M.* (2015). Investigation of the stability of the torsorial vibrations of a screw conveyer under the influence of pulse forces. INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest. Vol. 45.
7. *Hevko I., Lyashuk O., Sokil M., Slobodian L., Hud V., Vovk Yu.* (2019). Resonant oscillation of vertical working part of conveyer-loader. Karaganda State University Publishing house. Karaganda, 2019. № 2 (94).
8. *Hevko I. B., Hud V. Z., Shust I. M. et al.,* (2016). Synthesis of telescopic screw conveyors. Bulletin of the KhNTUSG named after Peter Vasilenko. "Resource-saving technologies, materials and equipment in repair production", Vol. 168, Ukraine

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАТРАТЫ МОЩНОСТИ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМИ ВИНТОВЫМИ ТРАНСПОРТЕРАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГРУЗОВ

В. З. Гудь

Аннотация. Разработано экспериментальное оборудование для проведения исследований телескопических винтовых транспортеров, с помощью которого проведено исследование данного конвейера согласно разработанных методик. Для определения влияния конструктивных и кинематических параметров телескопического винтового транспортера на затраты мощности на приводе шнека при транспортировке кукурузы, пшеницы и комбикорма проведения полнофакторного эксперимента. Было определено величину затрат мощности на приводе шнека телескопического винтового транспортера от изменения трех основных факторов: частоты вращения шнека, длины удлинение шнека и угла наклона транспортера. Выведены уравнения регрессии затрат мощности в зависимости от изменения частоты вращения шнека, длины удлинение шнека, угла наклона транспортера. Результаты экспериментальных исследований величины затрат мощности при перегрузке телескопическим винтовым транспортером показали, что основными факторами, влияющими на увеличение крутящего момента на приводе, частота вращения шнека и длина его удлинение, а также комбинация этих факторов.

Ключевые слова: телескопический винтовой конвейер, транспортер, шнек, мощность, вращения, крутящий момент, транспортировка.

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF COST OF POWER WITH OVERLOADING BY TELESCOPIC SCREW TRANS-PORTERS OF AGRICULTURAL CARGOES

V. Z. Hud

Abstract. Experimental equipment was developed for conducting research on telescopic screw conveyors, with the help of which a study of this conveyor was carried out according to the developed techniques. To determine the influence of the structural and kinematic parameters of the telescopic screw conveyor on the power consumption of the auger drive during the transportation of corn, wheat and animal feed conducting full-factor experiments. It was determined the amount of power consumption on the auger drive of the telescopic screw conveyor from a change in three main factors: the frequency of rotation of the screw, the length of the elongation of the screw and the angle of inclination of the conveyor. Equations of regression of power consumption are derived depending on changes in the frequency of rotation of the screw, the length of the elongation of the screw, the angle of the conveyor. The results of experimental studies of the amount of power consumption when overloaded with a telescopic screw conveyor showed that the main factors affecting the increase in torque on the drive, the rotational speed of the screw and its elongation length, as well as a combination of these factors.

Key words: telescopic screw conveyor, conveyor, auger, power, rotation, torque, transportation.

В. З. Гудь ORCID 0000-0001-5312-526X.