УДК 621.327.539 DOI 10.31548/energiya2019.05.030

ПРИВОДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТЕРА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент

О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент

З. М. Бакалець, студент магістратури

О. І. Іценко, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: vit1986@ua.fm

Анотація. *При проектуванні та дослідженні електропривода транспортера необхідно знати його приводні характеристики. Нині зміну координат електропривода транспортерів в перехідних процесах визначають, як правило, експериментально. Застосування аналітичних методів значно спрощує їх визначення.*

Насіння сільськогосподарських культур, яке оброблюється в магнітному полі, має різну густину, що обумовлює зміну приводних характеристик транспортера. Крім того, навантажувальна характеристика транспортера має змінний характер.

Мета дослідження – визначення та аналіз приводних характеристик електропривода транспортера електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур в магнітному полі.

Конструкція розробленого пристрою для магнітної обробки насіння передбачає установку 4 пар магнітів на основі NdFeB паралельно над і під стрічкою транспортера зі змінною полярністю. Конструкція транспортера передбачає застосування 4 барабанів для забезпечення можливості монтажу магнітної плити під стрічкою транспортера.

Визначення тягового зусилля на приводному барабані проводилося за відомою методикою. Це дало можливість визначити зусилля на приводному барабані та потужність приводного двигуна.

Отримані аналітичні вирази для визначення механічної, інерційної та навантажувальної характеристики транспортера при транспортуванні насіння різних сільськогосподарських культур. Експериментально визначені зведений момент статичних опорів та момент інерції транспортера на холостому ході.

Отримані приводні характеристики транспортера електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння в магнітному полі, що дає можливість визначити відхилення кутової швидкості від оптимального значення

при обробці насіння, а також проводити аналіз перехідних процесів в електроприводі транспортера.

Ключові слова: ***транспортер, електропривод, механічна характеристика, момент інерції, навантажувальна характеристика***

Актуальність. При проектуванні та дослідженні електропривода робочої машини необхідно знати її приводні характеристики. Приводні характеристики дають можливість визначити потужність приводного двигуна, визначити час перехідного процесу, провести аналіз перехідних процесів в електроприводі робочої машини [1].

Нині зміну координат електропривода транспортерів в перехідних процесах визначають, як правило, експериментально. Застосування аналітичних методів значно спрощує їх визначення.

Мета дослідження – визначення та аналіз приводних характеристик електропривода транспортера електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур в магнітному полі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Насіння сільськогосподарських культур, яке оброблюється в магнітному полі, має різну густину, що обумовлює зміну приводних характеристик транспортера. Крім того, навантажувальна характеристика транспортера має змінний характер [2].

Оскільки для привода транспортера застосовуються електродвигуни малої потужності, які мають м’яку механічну характеристику, то зміна навантаження може призводити до суттєвої зміни швидкості транспортерної стрічки.

Нині при проведенні досліджень майже не приймається до уваги динаміка транспортера [3]. Дослідження перехідних процесів в електроприводах транспортерів обмежується їхнім пуском [4, 5]. Дослідження динаміки електропривода електротехнологічного комплексу передпосівної обробки насіння в магнітному полі потребує визначення приводних характеристик транспортера.

Мета дослідження – визначення та аналіз приводних характеристик електропривода транспортера електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур в магнітному полі.

Матеріали і методи дослідження. Момент інерції транспортера на холостому ході визначали експериментально методом падаючих вантажів. На приводний шків радіуса R=0,05 м намотували трос, до кінця якого прикріплювали вантажі масою m_1=0,05 кг та m_2=0,02 кг, які створювали моменти, більші за момент опорів машини. Вантажі опускали з висоти h=1 м, вимірюючи при цьому секундоміром час їхнього опускання t_1 і t_2, який відповідно склав 2 та 1 с.

Розраховували прискорення вантажів:

$$a_1 = \frac{2h}{t_1^2}, \; a_2 = \frac{2h}{t_2^2}, \tag{1}$$

яке відповідно склало 0,5 і 2 м/с^2.

Масу обертових частин визначали за формулою:

$$m_x = \frac{m_2(g - a_2) - m_1(g - a_1)}{a_2 - a_1}, \tag{2}$$

де m_x – маса обертових частин, яка становила 0,14 кг

Тоді можна визначити зведений до валу двигуна момент інерції:

$$J_x = m_x R^2. \tag{3}$$

Експериментально механічну характеристику транспортера на холостому ході визначали за допомогою тарувальної машини – двигуна постійного струму незалежного збудження.

Результати досліджень та їх обговорення. Конструкція розробленого пристрою для магнітної обробки насіння передбачає установку 4 пар магнітів на основі NdFeB марки N38SH паралельно над і під стрічкою транспортера зі змінною полярністю (рис. 1). Магніти приклеєні до плити, виконаної зі сталі Ст2211. Проміжки між магнітами заповнені текстолітом. З лицевих сторін плити обшиті нержавіючою сталлю [6].

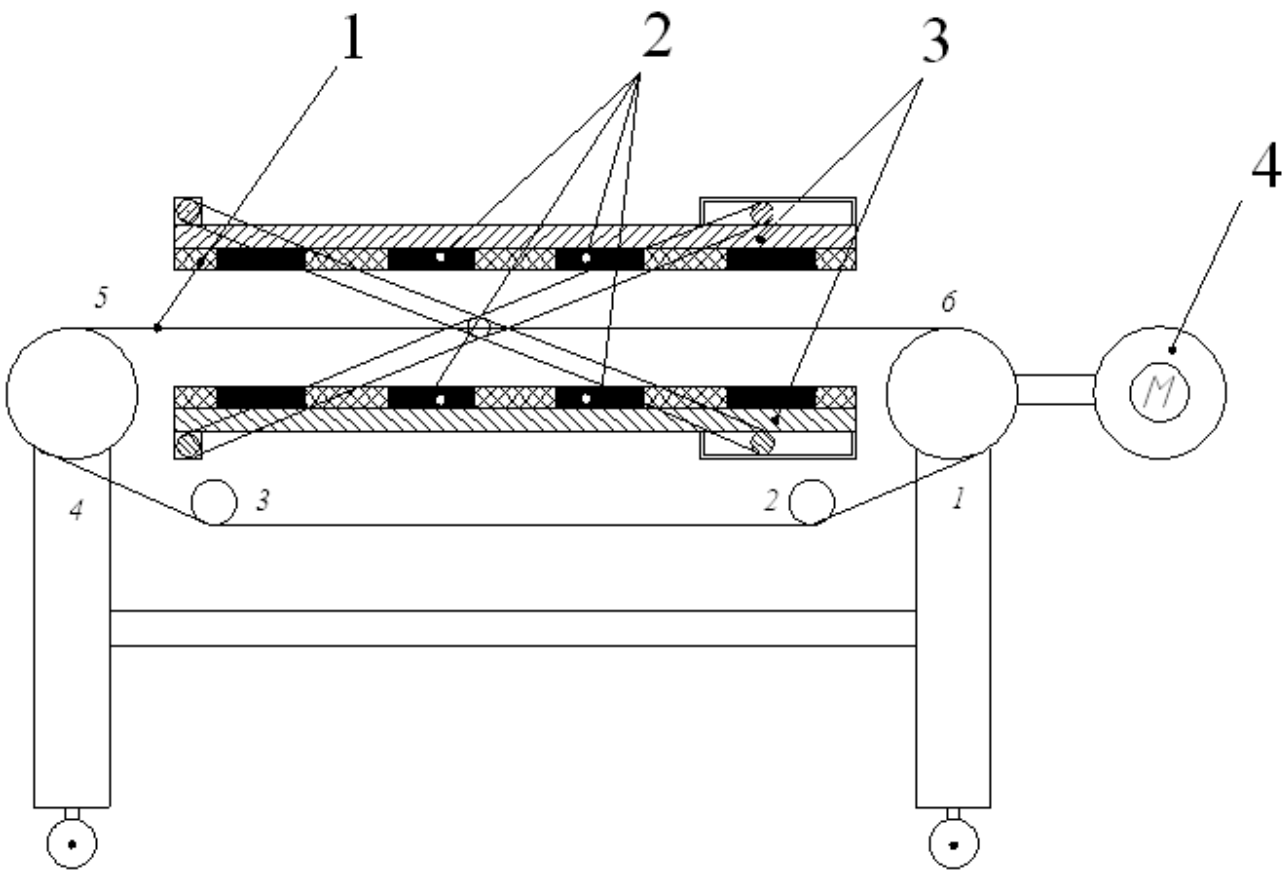

Рис. 1. Електротехнологічний комплекс для магнітної обробки сільськогосподарської продукції:

1 – транспортер; 2 – постійні магніти; 3 – сталева плита; 4 - електродвигун

Конструкція транспортера передбачає застосування 4 барабанів для забезпечення можливості монтажу магнітної плити під стрічкою транспортера. Рама транспортера в зоні розміщення плит виконана з нержавіючої сталі.

Визначення тягового зусилля на приводному барабані проводилося за відомою методикою за геометричною схемою транспортера, показаною на рис. 1.

Опори руху та натягування стрічки визначаються у відповідних точках схеми транспортера (рис. 1):

$$F_2=F_1\varepsilon \tag{4}$$

де ε – коефіцієнт опору на відхиляючому барабані, ε=1,02.

$$F_3=F_2+(q_c+q_{пн})lk_n= F_1\varepsilon+(q_c+q_{пн})lk_n \tag{5}$$

де q_c – навантаження, яке створює 1 погонний метр транспортерної стрічки, кг/м; $q_{пн}$ – погонне навантаження від обертових частин роликових опор, кг/м; l – довжина холостої вітки,м; k_n – коефіцієнт опору роликових опор, k_n=0,022.

$$F_4 = F_3\varepsilon = F_1\varepsilon^2 + (q_c + q_{пн})lk_n\,\varepsilon. \quad (6)$$

$$F_5 = F_4k_1 = F_1\,k_1\varepsilon^2 + (q_c + q_{пн})lk_n\,k_1\,\varepsilon, \quad (7)$$

де k_1 – коефіцієнт збільшення натягування стрічки при огинанні барабану, k_1=1,05.

$$F_6 = F_5 + (q_в + q_c + q_{пж})lk_ж + F_{зав} + F_{борт}, \quad (8)$$

де $k_ж$ – коефіцієнт опору роликових опор, $k_ж$=0,025; $q_в$ – навантаження від транспортованого вантажа, кг/м; $q_{пж}$ – погонне навантаження від жолобчатих роликових опор, м;

$$q_в = \rho Bh, \quad (9)$$

де ρ – питома густина транспортованого матеріалу, кг/м^3; B – ширина стрічки, м; h – висота транспортованого матеріалу, м; $F_{зав}$ – опір завантажувального пристрою, кг; $F_{борт}$ –опір бортів лотка.

Опір, який створює завантажувальний пристрій:

$$F_{зав} = \frac{l_в}{B_в} q_в h_з^{/} + Gk_ж, \quad (10)$$

де $l_в$ - довжина завантажувальної воронки, м; $B_в$ – ширина воронки, м; $h_з^{/}$ - коефіцієнт, $h_з^{/}$=0,5; G – сила тиску вантажу на стрічку:

$$G = 0{,}1Q\sqrt{h_1}, \quad (11)$$

де Q – продуктивність транспортера, кг/с, h_1 – висота падіння вантажу, м, h_1=0,1 м.

Тоді із (10) і (11) отримаємо:

$$F_{зав} - \frac{l_в}{B_в} q_в h_з^{/} + 0{,}1 q_в v\sqrt{h_1}k_ж = q_в\left(\frac{l_в}{B_в} h_з^{/} + 0{,}1v\sqrt{h_1}k_ж\right). \quad (12)$$

Опір бортів лотка:

$$F_{борт} = fh^2\rho n_б l, \quad (13)$$

де f – коефіцієнт тертя об стінки лотка, $f_=$0,8; h - висота вантажів біля бортів, м ; $n_б$ – коефіцієнт бокового тиску;

$$n_б - \frac{1{,}2 + v}{1 + 2f_в^2}, \quad (14)$$

де $f_в$ – коефіцієнт внутрішнього тертя, $f_{в==}$0,7.

$$n_б - \frac{1{,}2+0{,}4}{1+2\cdot 0{,}7^2} = 0{,}81.$$

Тоді

$$F_6 = F_1 k_1 \varepsilon^2 + (q_c + q_{пн}) l k_n k_1 \varepsilon + (\rho B h + q_c + q_{пж}) l k_ж + \rho B h \left(\frac{l_в}{B_в} h_з^{/} + 0{,}1 v \sqrt{h_1} k_ж\right) + f h^2 \rho n_б l \quad (15)$$

Силу F_6 можна визначити за формулою:

$$F_6 = F_1 e^{\mu a}, \quad (16)$$

де $e^{\mu a}$ – тяговий фактор, $e^{\mu a}$=2,56.

Тоді із (15) і (16) отримаємо:

$$F_1 = \frac{1}{e^{\mu a} - k_1 \varepsilon^2}(l k_n k_1 \varepsilon (q_c + q_{пн}) + l k_ж (q_c + q_{пж}) + \rho (B h l k_ж + B h \left(\frac{l_в}{B_в} h_з^{/} + 0{,}1 v \sqrt{h_1} k_ж\right) + f h^2 n_б l) \quad (17)$$

Тягове зусилля на приводному барабані

$$F_c = F_6 - F_1 == F_1 (e^{\mu a} - 1) \quad (18)$$

З урахуванням (17) отримаємо

$$F_c = \frac{e^{\mu a} - 1}{e^{\mu a} - k_1 \varepsilon^2}(l k_n k_1 \varepsilon (q_c + q_{пн}) + l k_ж (q_c + q_{пж}) + \rho (B h l k_ж + B h \left(\frac{l_в}{B_в} h_з^{/} + 0{,}1 v \sqrt{h_1} k_ж\right) + f h^2 n_б l) \quad (19)$$

Потужність електродвигуна для привода транспортера визначають за формулою:

$$P = \frac{K_з F_c v}{102 \eta_n}, \quad (20)$$

де $K_з$ – коефіцієнт запасу, $K_з$=1,25; η_n – ККД передачі, η_n=0,87.

Насіння пшениці має найбільшу густину ρ=770 кг/м^3, тоді F_c=5,07 кг. Тому для привода транспортера доцільно вибрати мотор-редуктор, наприклад, 5GN20K з двигуном 5IK40W-GN номінальною потужністю 40 Вт і частотою обертання 1300 об/хв. У мотор-редуктора передаточне відношення 20, номінальний момент на валу – 5 Н·м [7].

Зведений до валу двигуна момент інерції завантаженого транспортера визначають за формулою:

$$J_x = J_p + J_x + \frac{v^2}{\omega_д^2}\rho Bhl\,, \tag{21}$$

де J_p – момент інерції ротора електродвигуна, кг·м^2, J_p =2,7·10^{-4} кг·м^2; J_x – момент інерції транспортера на холостому ході, кг·м^2, $\omega_д$ – кутова швидкість електродвигуна, с$^{-1}$, $\omega_д$=145,4 с$^{-1}$.

Зведений до валу двигуна момент інерції транспортера на холостому ході, визначений методом падаючих вантажів, складає 3,5·10^{-4} кг·м^2.

Тоді

$$J_x = 6{,}2\cdot 10^{-4} + 7{,}57\cdot 10^{-8}\rho\,. \tag{22}$$

Значення зведеного моменту інерції транспортера при транспортуванні насіння сільськогосподарських культур наведено в таблиці. Оскільки зведений момент інерції електропривода транспортера при зміні його завантаження змінюється не більше ніж на 2 %, його можна вважати незмінним при передпосадковій обробці насіння в магнітному полі.

Зведений момент статичних опорів транспортера визначається за формулою:

$$M_c = \frac{gv(e^{\mu a}-1)}{\eta\omega_д(e^{\mu a}-k_1\varepsilon^2)}(lk_n k_1\varepsilon(q_c+q_{пн}) + lk_ж(q_c+q_{пж}) + \rho(Bhlk_ж + Bh\left(\frac{l_в}{B_в}h_з^{/} + 0{,}1v\sqrt{h_1}k_ж\right) + fh^2 n_б l) \tag{23}$$

Вираз (23) можна представити у вигляді:

$$M_c = M_{cxx} + 1{,}52\cdot 10^{-4}\rho\,, \tag{24}$$

де M_{cxx} – момент статичних опорів транспортера на холостому ході.

Встановлено, що у стрічкового транспортера момент статичних опорів не залежить від кутової швидкості (рис. 2), але визначається видом транспортованого матеріалу(таблиця):

$$M_c = 0{,}04 + 1{,}52\cdot 10^{-4}\rho = const\,. \tag{25}$$

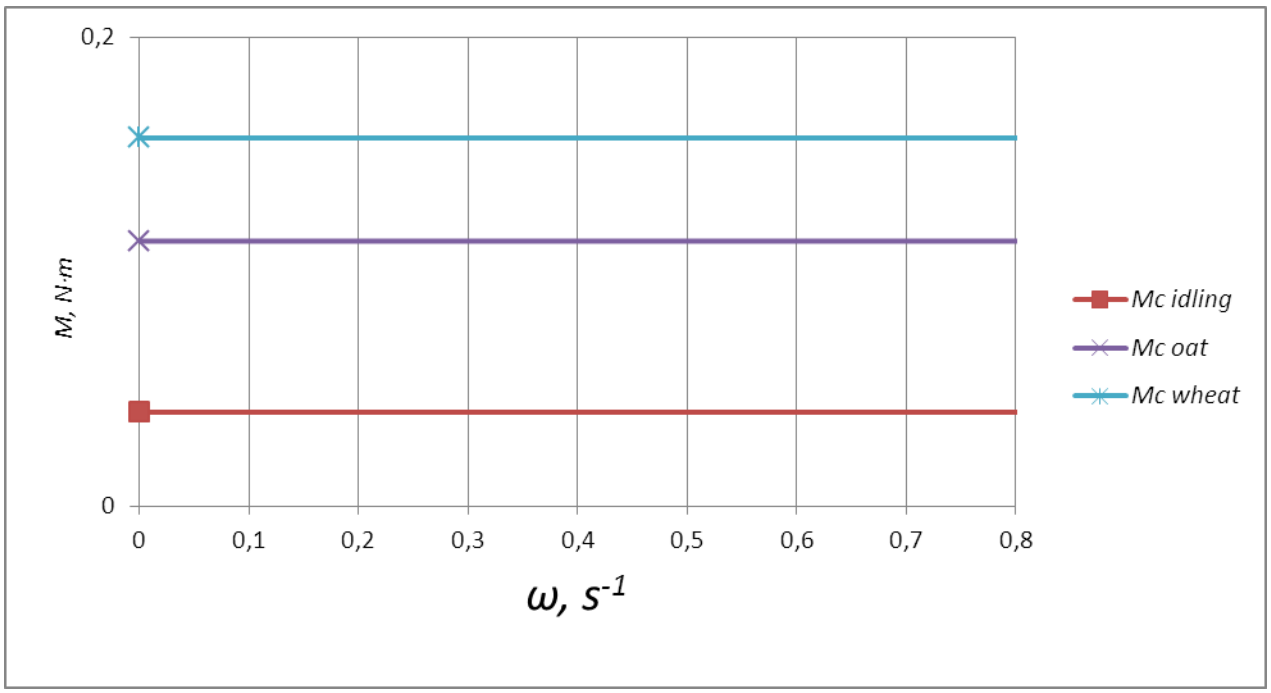

Рис.2. Механічна характеристика транспортера електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння в магнітному полі:

1 – на холостому ході; 2 – при транспортуванні вівса; 3 – при транспортуванні пшениці

Навантажувальна діаграма транспортера має змінний характер. Момент статичних опорів змінюється у середньому за 1 с від 0,93 до 1,15 Н·м. Реальну навантажувальну діаграму можна з достатньою точністю апроксимувати ломаною лінією, вважаючи, що на її окремих ділянках момент статичних опорів змінюється у часі за лінійним законом [8]:

$$M_c = M_{спо} + \gamma t, \tag{26}$$

де $M_{споч}$ – момент статичних опорів робочої машини у початковий момент часу; γ – швидкість зміни моменту статичних опорів робочої машини у часі (таблиця).

Висновки і перспективи. Отримані приводні характеристики транспортера електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння в магнітному полі, що дає можливість визначити відхилення кутової швидкості від оптимального значення при обробці насіння, а також проводити аналіз перехідних процесів в електроприводі транспортера.

1. Приводні характеристики транспортера

Вид транспортованого матеріалу	Густина, кг/м^3	Момент статичних опорів, Н·м	Момент інерції, кг·м^2	Навантажувальна характеристика	
				$M_{споч}$, Н·м	γ, Н·м·с
Холостий хід	-	0,04	$6{,}2\cdot10^{-4}$	0,04	0
Пшениця	770	0,157	$6{,}78\cdot10^{-4}$	0,128	0,058
Жито	715	0,149	$6{,}74\cdot10^{-4}$	0,122	0,054
Ячмінь	600	0,131	$6{,}65\cdot10^{-4}$	0,108	0,046
Кукурудза	720	0,15	$6{,}75\cdot10^{-4}$	0,123	0,055
Овес	480	0,113	$6{,}56\cdot10^{-4}$	0,095	0,036
Горох	700	0,146	$6{,}73\cdot10^{-4}$	0,12	0,053
Квасоля	550	0,124	$6{,}62\cdot10^{-4}$	0,103	0,042
Буряк	720	0,15	$6{,}75\cdot10^{-4}$	0,123	0,055
Кабачок	500	0,116	$6{,}58\cdot10^{-4}$	0,097	0,038
Огірок	660	0,14	$6{,}7\cdot10^{-4}$	0,115	0,05
Цибуля	490	0,115	$6{,}57\cdot10^{-4}$	0,096	0,038
Часник	600	0,131	$6{,}65\cdot10^{-4}$	0,108	0,046

Список літератури

1. Синявський О. Ю., Савченко В. В., Козирський В. В., Бунько В. Я., Рамш В. Ю. Електропривод і автоматизація. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2019. 619 с.
2. Lodewijks G. Dynamics of belt systems. Delfi:Univercity of technology, 2016. 256 p.
3. He D., Pang Y., Lodewijks G. Belt Conveyor Dynamics in Transient Operation for Speed Control. International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering. 2016. Vol. 10(7). P. 859 – 864.
4. Павлов В. Е. Исследование режимов пуска электропривода ленточного конвейера методом компьютерного моделирования. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22 (4). С. 135 – 147.
5. Rajković B., Ilić Z., Mijović R. Transient time determination at start up of belt conveyor for ore. Mining and Metallurgy Institute Bor. 2013. Vol. 109. P. 53 – 60.
6. Kozyrskyi V., Savchenko V., Sinyavsky O. Presowing Processing of Seeds in Magnetic Field”. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. IGI Global, USA, 2018. P. 576 – 620.

7. AC Induction Motor, AC Induction Gear Motor. Режим доступу: motor-net.com / 01-2ik6W. html.

8. Савченко В. В., Синявський О. Ю., Шагай Р. Г. Перехідні процеси в електроприводі транспортера електротехнологічного комплексу для передпосівної обробки насіння в магнітному полі. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2019. Вип. 203. С. 88 – 89.

References

1. Sinyavsky, O. Yu., Savchenko, V. V., Kozyrskyi, V. V., Bunko, V. Ya., Ramsh, V. Yu. (2019). Elektropryvod i avtomatyzatsiia [Electric drive and automation]. Kyiv: FOP Yamchynskyi O.V., 619.

2. Lodewijks, G. (2016). Dynamics of belt systems. Delfi:Univercity of technology, 256.

3. He, D., Pang, Y., Lodewijks, G. (2016). Belt Conveyor Dynamics in Transient Operation for Speed Control. International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering. 10(7), 859 – 864.

4. Pavlov, V. E. (2018). Issledovaniye rezhimov puska elektroprivoda lentochnogo konveyera metodom komp'yuternogo modelirovaniya [Investigation of the start-up of the electric drive belt conveyor by computer simulation]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 22 (4), 135 – 147.

5. Rajković, B., Ilić, Z., Mijović, R. (2013). Transient time determination at start up of belt conveyor for ore. Mining and Metallurgy Institute Bor, 109, 53 – 60.

6. Kozyrskyi, V., Savchenko, V., Sinyavsky, O. (2018). Presowing Processing of Seeds in Magnetic Field. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. IGI Global, USA, 576 – 620.

7. AC Induction Motor, AC Induction Gear Motor. Available at: motor-net.com / 01-2ik6W. html.

8. Savchenko, V. V., Sinyavsky, O. Yu., Shahai, R. H. (2019). Perekhidni protsesy v elektropryvodi transportera elektrotekhnolohichnoho kompleksu dlia peredposivnoi obrobky nasinnia v mahnitnomu poli [Transients in the electric drive of the conveyor of the electrotechnological complex for pre-sowing treatment of seeds in a magnetic field]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka, 203, 88 – 89.

ПРИВОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТЕРА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В. В. Савченко, А. Ю. Синявский, З.М. Бакалец, О.И. Иценко

Аннотация. *При проектировании и исследовании электропривода транспортера необходимо знать его приводные характеристики. В настоящее время изменение координат электропривода транспортеров в переходных процессах определяют, как правило, экспериментально. Применение аналитических методов значительно упрощает их определение.*

Семена сельскохозяйственных культур, которые обрабатывается в магнитном поле, имеет разную плотность, что обусловливает изменение приводных характеристик транспортера. Кроме того, нагрузочная характеристика транспортера имеет переменный характер.

Цель исследования - определение и анализ приводных характеристик электропривода транспортера электротехнологического комплекса для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур в магнитном поле.

Конструкция разработанного устройства для магнитной обработки семян предусматривает установку 4 пар магнитов на основе NdFeB параллельно над и под лентой транспортера с переменной полярностью. Конструкция транспортера предусматривает применение 4 барабанов для обеспечения возможности монтажа магнитной плиты под лентой транспортера.

Определение тягового усилия на приводном барабане проводилось по известной методике. Это дало возможность определить усилия на приводном барабане и мощность приводного двигателя.

Получены аналитические выражения для определения механической, инерционной и нагрузочной характеристики транспортера при транспортировке семян различных сельскохозяйственных культур. Экспериментально определены приведенный момент статических сопротивлений и момент инерции транспортера на холостом ходу.

Получены приводные характеристики транспортера электротехнологического комплекса для предпосевной обработки семян в магнитном поле, что позволяет определить отклонения угловой скорости от оптимального значения при обработке семян, а также проводить анализ переходных процессов в электроприводе транспортера.

Ключевые слова: ***транспортер, электропривод, механическая характеристика, момент инерции, нагрузочная характеристика***

Driving characteristics of the electrical technological complex for pre-sowing treatment of agricultural seeds in magnetic field

V. Savchenko, A. Sinyavsky, Z. Bakalets, O. Itsenko

Abstract. *When designing and researching the conveyor drive, it is necessary to know its driving characteristics. Nowadays, the change of coordinates of the drive of transporters in transients is usually determined experimentally. The use of analytical methods greatly simplifies their determination.*

Magnetically cultivated agricultural seeds have different densities, which causes a change in the drive characteristics of the conveyor. In addition, the loading characteristics of the conveyor is variable.

The purpose of the study is to determine and analyze the driving characteristics of the electric drive of the conveyor of the electrotechnological complex for pre-sowing treatment of agricultural seeds in a magnetic field.

The design of the developed device for magnetic seed treatment involves the installation of 4 pairs of magnets based on NdFeB in parallel above and below the conveyor belt with variable polarity. Conveyor design involves the use of 4 reels to allow the mounting of the magnetic plate under the conveyor belt.

Determination of traction on the drive drum was carried out by a known method. This made it possible to determine the force on the drive drum and the power of the drive motor.

Analytical expressions were obtained to determine the mechanical, inertial and loading characteristics of the conveyor during transportation of seeds of different crops. The torque of static resistances and the moment of inertia of the conveyor at idling were experimentally determined.

The driving characteristics of the conveyor of the electrotechnological complex for pre-sowing seed treatment in a magnetic field are obtained, which makes it possible to determine the deviation of the angular velocity from the optimum value during seed treatment, as well as to carry out the analysis of transients in the electric drive of the conveyor.

Key words: ***conveyor, electric drive, mechanical characteristic, moment of inertia, loading characteristic***