

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ВАНТАЖУ У СЕРЕДНЬОШВИДКІСНОМУ ГВИНТОВОМУ КОНВЕЄРІ-ЗМІШУВАЧІ ІЗ ОСЬОВИМ КОЛИВАННЯМ ШНЕКА

Дячун Андрій Євгенович к.т.н., доцент
Чвартацький Роман Ігорович аспірант
Мельничук Сергій Леонідович аспірант
Маруніч Олександр Петрович інженер

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Dyachun A.

Chvartatskyu R.

Melnychuk S.

Marunych A.

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

Анотація: в даній статті приведена методика дослідження кінематики вантажу у середньошвидкісному гвинтовому конвеєрі-змішувачі, виведені аналітичні залежності для визначення швидкості руху і прискорення виділеного об'єму вантажу.

Ключові слова: кінематика вантажу, гвинтовий конвеєр-змішувач, швидкості, прискорення.

Аналіз останніх досліджень

Технологічні процеси змішування кормових сумішей детально проаналізовані в роботах Макарова Ю.І. [1], Ловейкіна В.С. [2], Рогатинського Р.М. [3], Гевко І.Б. [4], Гевко Б.М. [5] та багатьох інших.

Під час роботи гвинтового конвеєра кутовий параметр визначається відповідними аналітичними залежностями.

Тому, обґрунтування параметрів руху змішувальних кормових матеріалів у гвинтових конвеєрах змішувача є актуальним і залишається неповністю дослідженим.

Постановка проблеми

Особливістю гвинтових конвеєрів-змішувачів є те, що для ефективного змішування кормів конвеєр повинен працювати в середньошвидкісному режимі і шнек повинен працювати у середньошвидкісному режимі і здійснювати коливання в осьовому напрямку із амплітудою A та кількістю коливань шнека в один оберт. При цьому встановлено, що матеріал у поперечному січненні кожуха конвеєра піднімається до верхньої точки і під дією сили ваги падає на внутрішню циліндричну поверхню кожуха.

Мета роботи.

Метою роботи є дослідження кінематики вантажу у середньо швидкісному гвинтовому конвеєрі-змішувачі із осьовим коливанням шнека.

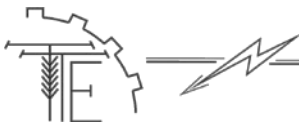
Реалізація роботи

Для зменшення енергетичних витрат і травмування зерна та збільшення надійності гвинтових робочих органів розроблено ряд оригінальних конструкцій гвинтових конвеєрів-змішувачів. Застосування таких конвеєрів потребує вирішення питань, пов'язаних з характером руху вантажу а також доцільності їх використання.

Особливістю гвинтових конвеєрів-змішувачів (рис. 1.1.) є те, що для ефективного змішування вантажів конвеєр повинен працювати у середньошвидкісному режимі при цьому шнек здійснює коливання в осьовому напрямку із амплітудою коливання A та кількістю коливань шнека за один оберт k [6]. При цьому на основі експериментальних досліджень встановлено, що матеріал у поперечному перерізі кожуха конвеєра піднімається до верхньої точки і під дією сили ваги падає на внутрішню циліндричну поверхню кожуха, повторюючи наступний цикл.

Під час роботи гвинтового конвеєра кутовий параметр θ визначається особливостями руху вантажу. Для встановлення характеру переміщення вантажу розглянемо рух виділеного об'єму вантажу в координатах x, y, z (рис. 1.1).

Розглянемо середньошвидкісний режим роботи конвеєра із осьовим коливанням шнека, при якому відбувається одночасне змішування та транспортування вантажу. Із умови контакту виділеного об'єму вантажу W з гвинтовою поверхнею шнека та циліндричною поверхнею кожуха, її розміщення



визначається радіальним параметром R і кутовим параметром θ .

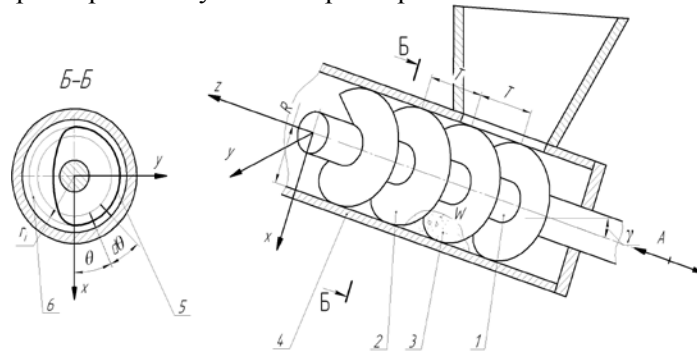


Рис. 1. Розрахункова схема переміщення виділеного об'єму вантажу у нахиленому гвинтовому конвеєрі із осьовим коливанням шнека: 1 – привідний вал; 2 – шнек; 3 – виділений об'єм вантажу; 4 – кожух; 5 – траєкторія руху вантажу при середньошвидкісному режимі (режимі змішування і транспортування) 6 – траєкторія руху вантажу при швидкісному режимі

В параметричному вигляді, з достатньою апроксимацією, координати виділеного об'єму вантажу W визначаються такими залежностями:

$$\begin{cases} x_w = (R - d) \cdot \cos \theta + d \cos^2 \theta; \\ y_w = R \cdot \sin \theta; \\ z_w = \frac{T(\omega t - \theta)}{2\pi} + A \sin(k\omega t), \end{cases} \quad (1)$$

де x_w, y_w, z_w , – координати виділеного об'єму вантажу, м;

R – радіальний параметр виділеного об'єму вантажу, м;

θ – кутовий параметр виділеного об'єму вантажу, рад;

ω – кутова швидкість обертання шнека, рад/с;

t – час, с;

d – параметр, що визначає зміщення траєкторії руху виділеного об'єму вантажу при середньошвидкісному режимі від швидкісного режиму, мм;

T – крок витків, мм.

A – амплітуда коливань шнека в осьовому напрямку, м;

k – кількість коливань шнека за один оберт.

Параметр d є функцією кутової швидкості обертання шнека, внутрішнього радіуса кожуха та властивостей транспортованого матеріалу, при чому із збільшенням кутової швидкості обертання шнека цей параметр зменшується, а при збільшенні внутрішнього радіуса кожуха – збільшується. При швидкохідному режимі $d=0$. Цей параметр можна визначити за емпіричними залежностями на основі експериментальних досліджень.

Швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно шнека в напрямку осей x, y, z :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \dot{x}_w - \dot{x}_{1u}; \\ \dot{y}_1 = \dot{y}_w - \dot{y}_{1u}; \\ \dot{z}_1 = \dot{z}_w - \dot{z}_{1u}, \end{cases} \quad (2)$$

$\dot{x}_w, \dot{y}_w, \dot{z}_w$, – проекції швидкості руху виділеного об'єму вантажу на осі координат x, y, z , м/с;

$\dot{x}_{1u}, \dot{y}_{1u}, \dot{z}_{1u}$ – проекції швидкості руху шнека на осі координат x, y, z , м/с.

Оскільки кожух нерухомий, то швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно кожуха в напрямку осей x, y, z , дорівнюють:

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = \dot{x}_w; \\ \dot{y}_2 = \dot{y}_w; \\ \dot{z}_2 = \dot{z}_w. \end{cases} \quad (3)$$



Проекції швидкості руху виділеного об'єму вантажу знаходимо, диференціюючи рівняння (1.1) для загального випадку, коли $R \neq const$:

$$\begin{cases} \dot{x}_w = \frac{d(R-d)}{dt} \cos \theta - (R-d) \cdot \sin \theta \cdot \frac{d\theta}{dt} + \frac{d(d)}{dt} \cos^2 \theta - 2d \cos \theta \sin \theta \frac{d\theta}{dt}; \\ \dot{y}_w = \frac{dR}{dt} \sin \theta + R \cdot \cos \theta \cdot \frac{d\theta}{dt}; \\ \dot{z}_w = \frac{T}{2\pi} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) + A \cdot k \cdot \omega \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t). \end{cases} \quad (4)$$

Швидкість руху гвинтового робочого органу визначаємо за залежностями:

$$\begin{cases} \dot{x}_{1u} = R \cdot \omega \sin \theta; \\ \dot{y}_{1u} = R \cdot \omega \cos \theta; \\ \dot{z}_{1u} = A \cdot k \cdot \omega \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t). \end{cases} \quad (5)$$

Згідно з (2), враховуючи залежності (4) і (5), знаходимо

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{d(R-d)}{dt} \cos \theta + R \cdot \sin \theta \cdot \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) + d \sin \theta \frac{d\theta}{dt} + \frac{d(d)}{dt} \cos^2 \theta - 2d \cos \theta \sin \theta \frac{d\theta}{dt}; \\ \dot{y}_1 = \frac{dR}{dt} \sin \theta - R \cdot \cos \theta \cdot \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right); \\ \dot{z}_1 = \frac{T}{2\pi} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right). \end{cases} \quad (6)$$

Модулі швидкості руху виділеного об'єму вантажу визначаємо за формулами:

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2}; \quad (7)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{\dot{x}_w^2 + \dot{y}_w^2 + \dot{z}_w^2}. \quad (8)$$

Підставляючи рівняння (1.4) і (1.6) у (1.7) і (1.8), приймаючи допущення, що кожух має циліндричну форму, при цьому $R=const$, $d=const$, після скорочень, отримаємо:

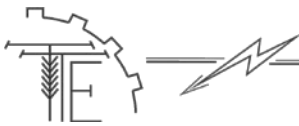
$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\left(R^2 + \frac{T^2}{4\pi^2} \right) \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right)^2 + 2Rd \sin^2 \theta \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) \frac{d\theta}{dt} (1 - 2\cos \theta) + d^2 \sin^2 \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 (1 - 2\cos \theta)^2}; \quad (9)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{R^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + \frac{T^2}{4\pi^2} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right)^2 + 2Rd \sin^2 \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 (1 - 2\cos \theta) + d^2 \sin^2 \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 (1 - 2\cos \theta)^2 + 2Ak\omega \cos(k \cdot \omega \cdot t) \frac{T}{2\pi} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) + A^2 k^2 \omega^2 \cos^2(k \cdot \omega \cdot t)}. \quad (10)$$

Прискорення виділеного об'єму вантажу визначаємо, диференціюючи рівняння (1.6) при $R=const$; $d=const$.

$$\begin{cases} \ddot{x} = R \cos \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) - R \sin \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} + d \cos \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} + d \sin \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} + \\ + 2d \left(\sin^2(\theta) \frac{d^2\theta}{dt^2} - \cos^2(\theta) \frac{d^2\theta}{dt^2} - 2\cos \theta \sin \theta \frac{d^2\theta}{dt^2} \right); \\ \ddot{y} = R \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \left(\omega - \frac{d\theta}{dt} \right) + R \cos \theta \frac{d^2\theta}{dt^2}; \\ \ddot{z} = -\frac{T}{2\pi} \frac{d^2\theta}{dt^2} - A \cdot k^2 \omega^2 \sin(k \cdot \omega \cdot t). \end{cases} \quad (11)$$

Результати числових та експериментальних досліджень, а також досліджень, представлених в роботі [1] свідчать, що незалежно від початкових умов транспортування після проходження зони перехідного режиму встановлюється стабільний режим транспортування.



Розглянемо стабільний режим транспортування у середньошвидкісному конвеєрі із осьовим коливанням шнека (рис. 1.2), в якому вантаж рухається по складній гвинтовій траєкторії і для якого при підніманні вантажу до верхньої точки дійсні умови: $\frac{d\theta}{dt} = const = \omega_0$, $\frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$, $\frac{dR}{dt} = 0$, $R = const$, $\frac{d(d)}{dt} = 0$, $d = const$, де ω_0 - кутова швидкість обертання вантажу, рад/с.

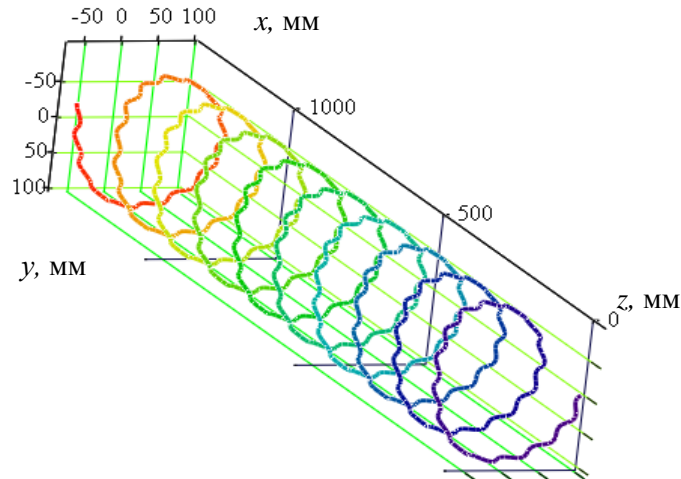


Рис. 2. Траєкторія руху виділеного об'єму вантажу у середньошвидкісному конвеєрі з осьовим коливанням шнека: $R=100$ мм; $\omega=20$ рад/с, $T=200$ мм, $A=10$ мм, $k=9$

При прийнятих умовах з (1.6) знайдемо проекції швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно шнека на осі системи координат xuz

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = R \cdot \sin(\omega_0 t) \cdot (\omega - \omega_0) + d \sin(\omega_0 t) \omega_0 - 2d \cos(\omega_0 t) \sin(\omega_0 t) \omega_0; \\ \dot{y}_1 = -R \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot (\omega - \omega_0); \\ \dot{z}_1 = \frac{T}{2\pi} (\omega - \omega_0). \end{cases} \quad (12)$$

Проекції швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно кожуха на осі системи координат xuz :

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = (R - d) \cdot \sin(\omega_0 t) \cdot \omega_0 - 2d \cos(\omega_0 t) \sin(\omega_0 t) \omega_0; \\ \dot{y}_2 = R \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot \omega_0; \\ \dot{z}_2 = \frac{T}{2\pi} (\omega - \omega_0) + A \cdot k \cdot \omega \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t). \end{cases} \quad (13)$$

Модулі швидкості руху виділеного об'єму вантажу визначаємо за виразами:

$$|\dot{s}_1| = \sqrt{\left(R^2 + \frac{T^2}{4\pi^2}\right) (\omega - \omega_0)^2 + 2Rd \sin^2(\omega_0) (\omega - \omega_0) \omega_0 (1 - 2\cos(\omega_0)) + d^2 \sin^2(\omega_0) (\omega_0)^2 (1 - 2\cos(\omega_0))^2}; \quad (14)$$

$$|\dot{s}_2| = \sqrt{R^2 (\omega_0)^2 + \frac{T^2}{4\pi^2} (\omega - \omega_0)^2 + 2Rd \sin^2(\omega_0) (\omega_0)^2 (1 - 2\cos(\omega_0)) + d^2 \sin^2(\omega_0) (\omega_0)^2 (1 - 2\cos(\omega_0))^2 + 2Ak\omega^2 \cos(k \cdot \omega \cdot t) \frac{T}{2\pi} + A^2 k^2 \omega^2 \cos^2(k \cdot \omega \cdot t)} \quad (15)$$

На основі формули (1.15) будовані графіки зміни швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно кожуха у середньошвидкісному конвеєрі з осьовим коливанням шнека в часі (рис. 1.3)

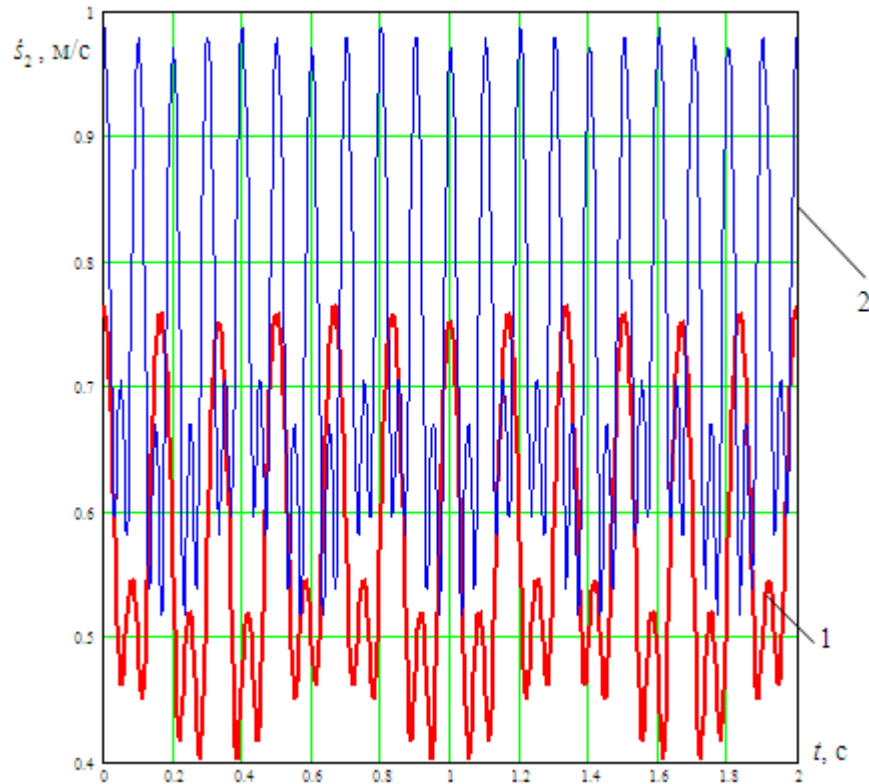


Рис. 3. Графіки зміни швидкості руху виділеного об'єму вантажу відносно кожуха у середньошвидкісному конвеєрі з осьовим коливанням шнека в часі $R=0,055\text{м}$, $T=0,11\text{м}$: 1 – $n=90\text{об/хв}$; 2 – $n=150\text{об/хв}$

Прискорення виділеного об'єму вантажу визначаємо за рівняннями:

$$\begin{cases} \ddot{x} = R\omega_s \cos(\omega_s t)(\omega - \omega_s); \\ \ddot{y} = R\omega_s \sin(\omega_s t)(\omega - \omega_s); \\ \ddot{z} = -A \cdot k^2 \omega^2 \sin(k \cdot \omega \cdot t). \end{cases} \quad (1.16)$$

На основі графіків рис. 3 можна зробити висновки, що при застосуванні гвинтових конвеєрів на середньошвидкісних режимах з осьовим коливанням шнека відбувається періодична зміна швидкості переміщення вантажу, що сприяє інтенсифікації процесу змішування.

Висновки

В результаті проведених досліджень, можна зробити наступні висновки.

1. Досліджено кінематику вантажу у середньошвидкісному гвинтовому конвеєрі-змішувачі із осьовим коливанням шнека.
2. Розроблено конструкцію установки для подрібнення, змішування кормів, яка захищена патентом України на винахід.

Список літератури

1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпких материалов / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение. 1973. – 216 с.
2. Ловейкін В.С. Оптимізація режимів роботи гвинтових конвеєрів / В.С. Ловейкін, О.Р. Рогатинська // Піднімально-транспортна техніка. К. 2004. – №2. – Ст.8-15.
3. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. ... докт. техн. наук : 05.20.01, 05.05.05 / Р. М. Рогатинський. – К., 1997. – 502 с.
4. Рогатинський Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 278 с.
5. Hewko В.М. The study of bulk material kinematics in a screw conveyor-mixer / В.М. Hewko, Р.В. Popovich, А.У. Diachun, О.Л. Lyashuk, R.O. Liubachivskyi // INMATEH – Agricultural Engineering. – Bucharest: INMA Bucharest / Romania, 2015. – Vol. 47, No. 3 – Pp. 156-163.
6. Пат. 55150 Україна МПК В 02 С 18/00 (2009). Установка для подрібнення і змішування корму /



Чвартацький Р.І., Чвартацький І.І., Гевко І.Б., Івасечко Р.Р., Стойко І.І.; заявник і патентовласник Чвартацький Р.І., Чвартацький І.І., Гевко І.Б., Івасечко Р.Р., Стойко І.І. – № u201005417; заявл. 05.05.2010; опубл.10.12.2010, Бюл. №23. (Частка всіх авторів однакова).

References

1. Makarov YU.I. *Apparaty dlya smeshivaniya sypuchikh materialov* / YU.I. Makarov. - M.: Mashinostroyeniye. 1973. - 216 s.
2. Loveykin V.S. *Optymizatsiya rezhimiv roboty Hvyntove konveyeriv* / V.S. Loveykin, O.R. Rohatynskyy // *pidnimalno-transportna tekhnika*. K., 2004. - №2. - S.8-15.
3. Rohatynskyy R.M. *Mekhaniko-tekhnologichni osnovy vzayemodiyi shnekovykh robochykh ORHANIV z syrovyny silskohospodarskoho vyrobnytstva: dys. ... Dokt. tekhn. nauk: 05.20.01, 05.05.05* / R. M. Rohatynskyy. - K., 1997. - 502 s.
4. Rohatynskyy R.M. *Naukovo-Prykladni osnovy sozdannya Hvyntove transportno-tekhnologichnykh mekhanizmiv* / R.M. Rohatynskyy, I.B. Hevko, A.YE. Dyachun. - Ternopil: TNTU imeni Ivana Pulyuya, 2014. - 278 s.
5. Hewko B.M. *The study of bulk material kinematics in a screw conveyor-mixer* / B.M. Hewko, P.V. Popovich, A.Y. Diachun, O.L. Lyashuk, R.O. Liubachivskiy // *INMATEH – Agricultural Engineering*. – Bucharest: INMA Bucharest / Romania, 2015. – Vol. 47, No. 3 – Pp. 156-163.
6. Pat. 55150 *Ukrayina MPK V 02 S 18/00 (2009). Ustanovka dlya podribnennya y zmishuvuannya kormu* / Chvartatskiy R.I., Chvartatskiy I.I., Hevko I.B., Ivasechko R.R., Stoyko I.I. ; заявник у патентовласник Chvartatskiy R.I., Chvartatskiy I.I., Hevko I.B., Ivasechko R.R., Stoyko I.I. - № u201005417; заявл. 05.05.2010; опубл.10.12.2010, Бюл. №23. (Частка vseh avtoriv odnakovo).

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ В ЭЛЕМЕНТАХ ПРИВОДНЫХ МЕХАНИЗМОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ КОРМОВ

Аннотация: приведена методика исследования динамических нагрузок в элементах приводных механизмов измельчителей кормов. Выведены аналитические зависимости для определения нагрузок на привод до момента его заклинивание.

Ключевые слова: динамические нагрузки, приводные механизмы, измельчения кормов.

STUDY OF KINEMATICS OF CARGO IN A MEDIUM SPEED SCREW CONVEYOR- MIXER WITH AXIAL VIBRATIONS OF AN AUGER

Summary: the technique of studying the kinematics of cargo in the medium speed screw conveyor-mixer is proposed in this article. Analytical dependences for determining the speed and acceleration of selected amount of cargo are developed.

Keywords: kinematics of goods, screw conveyor-mixer, speed, acceleration.