

**Токарчук О.А.**

к.т.н., доцент

Яропуд В.М.

к.т.н., доцент

*Вінницький національний
аграрний університет***Tokarchuk O.****Yaropud V.****Vinnitsia National
Agrarian
University****УДК 621.8-1/-9:621.867.52****ЗАЛЕЖНІСТЬ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ
ВИМОГАМИ І ПАРАМЕТРАМИ
РАЦІОНАЛЬНОГО ВИБОРУ
КОНСТРУКЦІЇ ВІБРАЦІЙНОГО
КОНВЕЄРА**

Зроблено аналіз залежності між окремими експериментальними дослідженнями і параметрами вібраційного конвеєра.

Основною проблемою при створенні й обґрунтуванні параметрів нових конструкцій вібраційних конвеєрів неперервної дії, які забезпечують розширення технологічних можливостей, є зменшення енергетичних ресурсів з покращеними умовами їх експлуатації, а також розроблення методики проектування їх робочих елементів, що має важливе технічне значення.

Процес переміщення вантажу вібраційним конвеєром супроводжується складними явищами в шарі матеріалу. Теоретичні дослідження, що відносяться до закономірностей руху окремої матеріальної точки, можна застосовувати при розрахунку всього потоку тільки при врахуванні специфічних особливостей вантажу, його фізико-механічних властивостей і впливу опору повітря. При стрибкоподібному русі, особливо в закритих жолобах і трубах, під вантажем і над ним утворюються зони розрідження і підвищеного тиску, в більшій мірі це явище спостерігається при транспортуванні пилоподібних вантажів.

Принциповий пристрій вібраційного конвеєра залежить в основному від типу приводу: ексцентрикового, аспіраційного, електромагнітного. Встановлено вплив режиму роботи конвеєра, а також амплітуди і частоти коливання на швидкість транспортування зерна, залежність продуктивності установки від цих параметрів.

Експериментально представлені графіки залежності швидкості транспортування зерна від ширини жолоба і амплітуди, а також побудовані графіки залежності продуктивності віброконвеєра від складної функції ряду параметрів: амплітуди, частоти коливання і т.д.

Ключові слова: віброконвеєр, жолоб, амплітуда, частота, швидкість транспортування, продуктивність, потужність, зерно, вологість.

Вступ. Дослідженню процесів транспортування та розрахунку вібраційних конвеєрів присвячено багато робіт, проте єдиної методики розрахунку поки не розроблено. Окремі питання проектування можна вирішувати, тільки поєднуючи розрахункові рекомендації з науковими дослідженнями і практикою [1,2].

Параметри конвеєра залежать від багатьох факторів і вибираються для заданого вантажу (гранулометричний склад, насипна вага, температура та ін.), необхідної довжини транспортування, необхідного кута установки конвеєра, місця установки і т.д. [3].

Основні вимоги, які пред'являються до сучасних вібраційних транспортуючих машин, можуть бути сформульовані наступним чином:



1. висока надійність і довговічність;
2. малі габарити і низька металоємність;
3. мінімальна передача динамічних навантажень на опорні конструкції;
4. велика довжина транспортування;
5. можливість завантаження і розвантаження матеріалу, що транспортується, практично з будь-якої точки траси.

Мета досліджень – аналіз впливу окремих експлуатаційних вимог і технічних параметрів вібраційного конвеєра а також певного впливу технологічних параметрів на продуктивність при транспортуванні сільськогосподарських вантажів.

Виклад основного матеріалу. Для оцінки режиму роботи віброконвеєра користуються так званим параметром режиму роботи, який можна визначити, як відношення вертикальної складової прискорення жолоба до негативного земного прискорення.

При горизонтальному положенні осі конвеєра опис параметра режиму має наступний вигляд:

$$\Gamma = \frac{\omega^2 \cdot A \cdot \sin \beta}{g} \quad (1)$$

При похилому, під кутом α , положенні осі конвеєра до горизонту вираз параметра набуває вигляду:

$$\Gamma = \frac{\omega^2 \cdot A \cdot \sin \beta}{g \cdot \cos \alpha}, \quad (2)$$

де ω – колова частота коливань, що дорівнює $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$,

n – число оборотів ексцентрикового вала в хвилину;

A – амплітуда коливань в см;

β – кут вібрації (кут напрямку вібрації щодо осі конвеєра);

$g = 981 \text{ см/с}^2$ – величина земного тяжіння.

При $\Gamma < 1$ – рух матеріалу відбувається без відриву від дна жолоба або труби.

При $\Gamma > 1$ – рух матеріалу проходить з відривом (вібраційний режим).

$\Gamma = 1$ – граничні умови між другим і першим випадками.

У діючих установках зазвичай $\Gamma = 1,2 \dots 3,0$.

На основі експлуатаційних показників рекомендують такі коефіцієнти режиму роботи (табл. 1) [4, 5].

Таблиця 1

Експлуатаційні показники режиму роботи приводів

Тип приводу	Коефіцієнт режиму, Γ	Частота коливань в хвилину	Амплітуда коливань, мм	
			Пиловидні і порошкоподібні вантажі	Зернисті і кускові вантажі
Електромагнітний	1,8–3,3	3000	0,5–1,5	0,2–1,0
Мотор-вібратор	1,8–3,3	2800–1500	0,8–3,0	0,3–1,0
Дебалансний направленої дії	1,8–3,3	1500–1000	2,0–4,0	1,0–3,0
Шатунно-кривошипний (ексцентриковий)	1,2–2,8	800–450	5,0–15,0	4,0–8,0

Примітка: великі значення Γ приймаються для пилоподібних вантажів при гумових пружних елементах і важких конвеєрах.

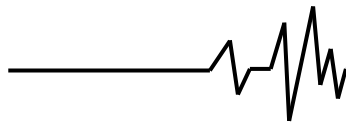
Амплітуда і частота коливань визначають динаміку роботи конвеєра, його продуктивність, швидкість транспортування і пов'язані залежністю через коефіцієнт режиму роботи виразом з формули:

$$An^2 = 90 \cdot g \cdot \Gamma \frac{\cos \beta}{\sin \theta}, \quad (3)$$

При вибраному режимі роботи і заданій частоті коливань при електромагнітному приводі (3000 кол./хв) або моторах-вібраторах (2800–1500 кол./хв) амплітуду визначають розрахунком. В інших випадках, коли невідомі і

амплітуда і частота коливань, для попереднього рішення можна користуватися рекомендаціями за таблицею 1, пам'ятаючи при цьому, що менші амплітуди рекомендуються для зернистих і крупнокускових матеріалів, а для пилоподібних і порошкоподібних, навпаки, слід вибирати максимально можливі амплітуди.

При одному і тому ж значенні коефіцієнта режиму роботи Γ збільшення амплітуди дає більший ефект у підвищенні швидкості транспортування, а значить і продуктивності, ніж збільшення частоти коливань.



Крім зазначених способів, амплітуду можна визначити, вирішуючи диференціальне рівняння вимушених коливань центру інерції системи [5, 6]. З припущеннями і спрощеннями:

$$A = \frac{mr_0}{M}, \quad (4)$$

де $m = G_0 : g$ – маса дебалансів центрального приводу вібратора;
 r_0 – ексцентриситет маси дебалансів;
 G_0 – сила тяжіння дебалансів;
 M – загальна маса коливної системи навантаженого конвеєра.

Загальну масу можна визначити за виразом:

$$M = \frac{\lambda G_B + G_T + G_{II}}{g}, \quad (5)$$

де G_B, G_T, G_{II} – відповідно сили тяжіння маси вантажу, жолоба (труби) і привода-вібратора;
 λ – коефіцієнт маси вантажу, який транспортується, рекомендований з таблиці 2 в залежності від коефіцієнта режиму роботи:

Таблиця 2

Коефіцієнт режиму роботи в залежності від коефіцієнта маси вантажу

Γ	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0
λ	0,60	0,38	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09	0,08	0,07

Швидкість транспортування

v_c – головний параметр, що визначає продуктивність конвеєра (формула 6), в свою чергу, залежить від фізико-механічних властивостей вантажу, конструктивних розмірів конвеєра і інших параметрів [5, 7, 8].

Визначити швидкість v_c розрахунковим шляхом можна тільки при великих припущеннях, а точніше – при введенні в формули поправочних коефіцієнтів з дослідів або використовуючи емпіричні залежності.

ВНІІПТМАШ рекомендує формулу:

$$v_c = \eta_0 \cdot v_T, \quad (4)$$

де η_0 – коефіцієнт проковзування, рівний для крупнокускових і зернистих матеріалів 0,57-0,62, для пилоподібних і порошкоподібних 0,30-0,50 [5, 9];

$v_T = \omega A$ – швидкість жолоба, тут

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

Після підстановки і спрощення:

$$v_c = 0,105 A n \cdot \cos \theta. \quad (5)$$

Більш точно швидкість можна визначити з урахуванням параметрів режиму роботи і конструктивних розмірів за формулою:

$$v_c \approx 0,105 \cdot (k_1 \pm k_2 \sin \beta) \cdot A n \sqrt{1 - \frac{1}{\Gamma^2} \cdot \cos \theta}, \quad (6)$$

де k_1 і k_2 – коефіцієнти, що залежать від фізико-механічних властивостей вантажу (табл.3). [4, 5]

Знак мінус в дужках при розрахунку за формулою (6) приймається для конвеєрів, що працюють з підйомом вантажу.

Таблиця 3

Фізико-механічні властивості вантажу

Характеристика вантажу	Розмір частинок, мм	k_1	k_2
Кусковий: пісок, кокс, тирса	5 – 200	0,9 – 1,1	1,5 – 2,0
Зернистий: зерно, комбікорм, крейда мелена, мілке вугілля і т.д.	0,5 – 5,0	0,8 – 1,0	1,6 – 2,5
Порошкоподібний: висівки, неорганічні добрива і т. д.	0,1 – 0,5	0,4 – 0,5	1,8 – 3,0
Пилоподібний: цемент, борошно, отрутохімікати і т.д.	<0,1	0,2 ÷ 0,5	2 ÷ 5

Потужність електродвигуна вібробудувача, кВт:

$$N = \frac{k_T \cdot Q}{367 \cdot \eta} (0,367 k_B L + H), \quad (7)$$

де k_T – коефіцієнт транспортабельності вантажу; при нормальному дорівнює 1,0, при зниженому – 1,5-2,0;

k_B – коефіцієнт питомої витрати потужності, 4,0...7,0; великі значення приймаються при жорсткому приводі і неврівноваженій системі.

Для проведення експериментальних досліджень була виготовлена лабораторна установка вібраційного конвеєра, яка



представлена на рис. 1.

Установка складається з (рис. 1):
1 - блока живлення з регулюючою частотою,
2 - змінного жолоба від 50 до 200 мм,
3 - транспортованого матеріалу (пшениці) з вологістю 12%, 4 - електродвигуна вібробуджувачи (4 штуки), 5 – рами, яка кріпиться до станини, 6 – пружних елементів для зміни кута нахилу конвеєра.

Експериментальні дослідження лабораторної установки вібраційного конвеєра

Наочне уявлення про складні залежності швидкості транспортування дають графіки (рис.2.), отримані експериментальним шляхом.

З графіка $v_c = f(B, A)$ видно, що збільшення ширини жолоба $B = 50$ до 200 мм веде до незначного (від 4 до 20%) зростання швидкості. Зміна амплітуди призводить до

лінійного наростання швидкості, при $A = 0,75 - 1,7$ мм, швидкість $v_c = 1,25 - 0,4$ м/с. Таким чином, більший ефект дає збільшення амплітуди коливань, але слід пам'ятати, що це призводить до відповідної зміни динаміки роботи і навантаження елементів конвеєра.

Продуктивність віброконвеєра є складною функцією ряду параметрів: амплітуди і частоти коливань, геометричних розмірів жолоба, фізико-механічних властивостей вантажу.

Продуктивність віброконвеєра при прямокутній формі жолоба (труби) визначається за формулою:

$$Q = 3600 \cdot B \cdot h \cdot v_c, \text{ м}^3/\text{год} \quad (8)$$

де B – ширина жолоба, м;
 h – висота шару вантажу, м;
 v_c – швидкість руху вантажу, м/с.

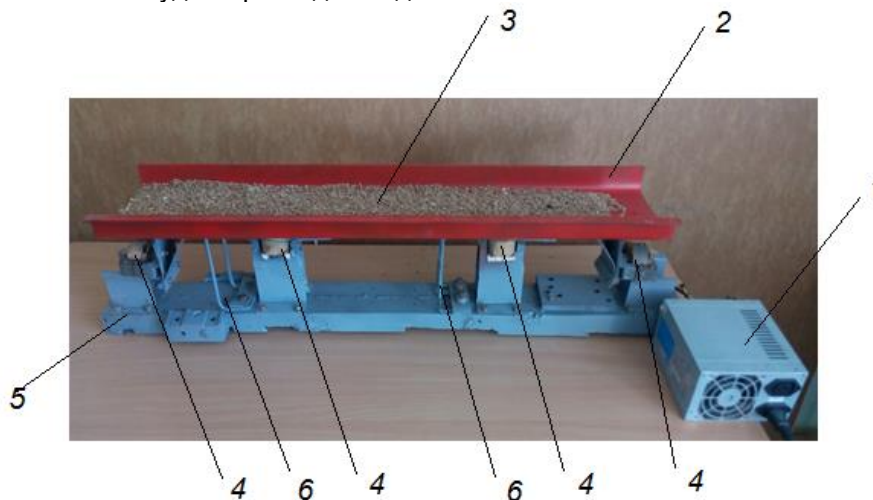


Рис. 1. – Загальний вигляд віброконвеєра

В якості ілюстрації цих залежностей наводяться графіки, побудовані на основі даних.

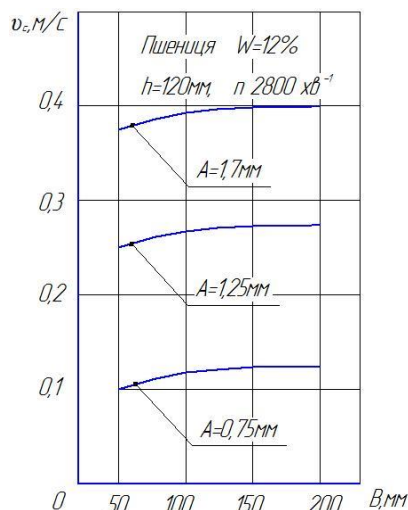


Рис. 2. – Залежність швидкості транспортування від B і A .

На рисунку 3 показана залежність $Q = f(A, h)$, продуктивності від амплітуди коливань і товщини шару що транспортується, зі збільшенням A і h продуктивність підвищується, але темп зростання продуктивності Q за h сповільнюється. Це підтверджується графіком залежності Q від відношення $h : B$ (рис. 5).

З цих графіків впливає, що для легкоципких матеріалів (пшениця) цілком допустимо відношення $h : B = 0,3-0,8$ і вище. Крім цього відзначимо, що при вузьких жолобах ($B = 50$ мм) темп зростання продуктивності менший, очевидно, позначається вплив ефекту пристінного гальмування.

Досліди показують, що при малих висотах шару частинки, що знаходяться біля стін жолоба, дещо випереджають середні і, навпаки, при великих висотах вони відстають. Відхилення швидкостей v_{\max} і v_{\min} від v_c потоку незначні і коливаються в межах 3-5%.

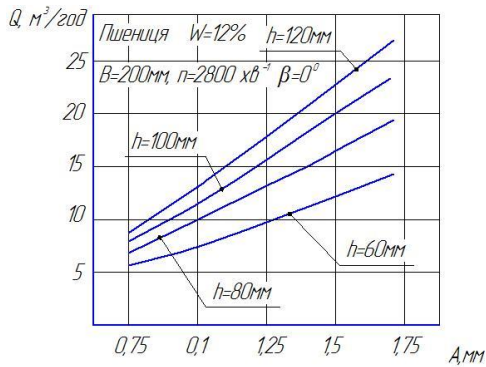


Рис. 3. – Залежність продуктивності від амплітуди коливань A

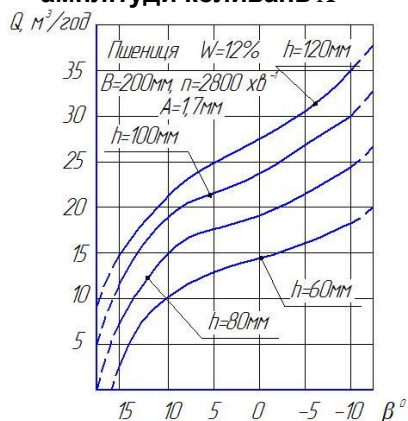


Рис. 4. – Залежність продуктивності від кута нахилу жолоба β

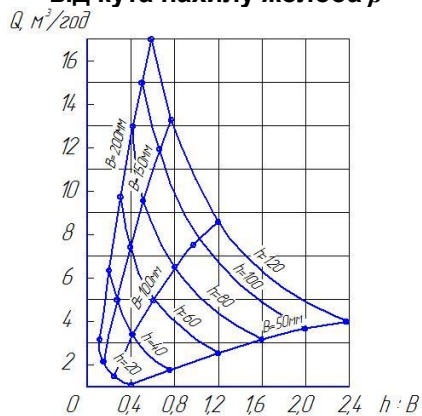


Рис. 5. – Залежність продуктивності від співвідношення $h : B$

Істотною перевагою віброконвеєра є можливість транспортувати матеріал під кутом з підйомом β не більше 15° . Продуктивність при цьому різко знижується і при певних кутах процес переміщення припиняється (рис. 4). При транспортуванні під схил істотно підвищується продуктивність, практично це має значення при малих кутах β (-10° до -15°), оскільки при подальшому схилі встановлюється самопливне транспортування і дія вібрації зайва.

Висновки.

1. Доведено що визначати швидкість транспортування вібраційними конвеєрами розрахунковим шляхом для зернової продукції

можна тільки при великих припущеннях, або введенням в формули поправочних коефіцієнтів з дослідів.

2. При однакових коефіцієнтах режиму роботи збільшення амплітуди дає великий ефект в підвищенні швидкості транспортування, а значить, і продуктивності, ніж збільшення частоти коливань.

3. Зі збільшенням амплітуди і товщини шару, що транспортується, продуктивність підвищується, але темп наростання сповільнюється.

Список використаних джерел

1. Потураев В.Н. Вибрационные транспортирующие машины: основы теории и расчета [Текст] / В.Н. Потураев, В.П. Франчук, А.Г. Червоненко – М.: «Машиностроение», 1964. – 272 с.

2. Копылов, Н.Г. Теория качающихся конвейеров [Текст] / Н.Г. Копылов. – М.; Л.: Машгиз, 1963. – 127 с.

3. Вибрационные технологические машины с пространственными колебаниями рабочих органов [Текст] / П. С. Берник, Л.В. Ярошенко; ред. П. С. Берник. – Винница: [б.и.], 1998. – 116 с.

4. Лаздан Э.Е. Унифицированный ряд вибрационных, жулобчатых горизонтальных конвейеров типа КВЖГ [Текст] / Э.Е. Лаздан, М.Л. Израйлевич, П.П. Тюренков – Тр. ВНИИПТМаш, вып. 1, 1971.

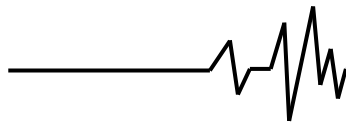
5. Дьячков В.К. Исследования и основы расчета и проектирования вибрационных конвейеров [Текст] / В.К. Дьячков – Тр. ВНИИПТМаш, вып. 3, 1963.

6. Розробка та дослідження енергоощадного вібраційного змішувача для внесення преміксів в комбікорми [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.05.11 / Цуркан Олег Васильович; Вінницький держ. аграрний ун-т. - Вінниця, 2004. - 155 арк.: рис. - арк. 133-144

7. Зозуляк І.А. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів інфрачервоної вібраційної сушарки [Текст] / І.А. Зозуляк, ОА Токарчук, ОВ Зозуляк // Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: VII Всеукраїнська науково-технічна конференція, смт. Глеваха Київської області – м. Київ, Україна, 5-28 грудня 2018 року: матеріали конференції. Глеваха-Київ. 2019. 113 с.

8. Pankiv v. r., Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor. / V.R. Pankiv, O. A. Tokarchuk – INMATEH - Agricultural Engineering . Jan-Apr 2017, Vol. 51 Issue 1, p59-68. 10p.

9. Thelen G. "Auswahl der Schwingforderer aus der Sicht des erregend des Schwingsystems". TAKRAF Jnform., № 3, 1968

**Список джерел у транслітерації**

1. Poturaev, V.N., Franchuk, V.P., Chervonenko A.H. (1964). Vybratsyonnye transportyruishchye mashyny: osnovy teoryu y rascheta Moskva: Mashynostroenye. [in Russian].
2. Kopylov, N.H. (1963). Teoriya kachaiushchykh konveierov. Moskva: Lenynhrad: "Mashhyz". [in Russian].
3. Bernyk P. S. Yaroshenko L.V. (1998). Vybratsyonnye tekhnolohycheskye mashyny s prostanstvennym kolebaniamy rabochykh orhanov. Vinnytsia. [in Ukrainian].
4. Lazdan, E.E., Yzrailevych, M.L., Tiurenkov, P.P. (1971). Unyfytsyrovanyi riad vybratsyonnykh, zhulobchatykh horizontalnykh konveierov typu KVZH [Unified range of vibrating, hulk horizontal conveyors type KVZH]. Trudy VNYIPTMash. 1. [in Russian].
5. Diachkov, V.K. (1963). Yssledovaniya y osnovy rascheta y proektyrovaniya vybratsyonnykh konveierov [Research and fundamentals of calculation and design of vibration conveyors] Trudy VNYIPTMash. 3. [in Russian].
6. Tsurkan, O. V. (2004). Rozrobka ta doslidzhennia enerhooshchadnoho vibratsiinoho zmishuvacha dlia vnesennia premiksiv v kombikormy [Development and research of energy-efficient vibration mixer for premixing]. (Candidate's thesis). Vinnytsia. [in Ukrainian].
7. Zozuliak, I.A., Tokarchuk, O.A, Zozuliak, O.V. (2019) Obgruntuvannia konstruktsiino-tekhnolohichnykh parametriv infrachervonoj vibratsiinoi susharki. Abstracts of Papers '19: Tekhnichniy prohres u tvarynnytsvi ta kormovyrobnytsvi. (pp.113). Kyiv. [in Ukrainian].
8. Pankiv, V.R., Tokarchuk, O. A. (2017). Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor. INMATEH - Agricultural Engineering. 51, 1, 59-68. [in English].
9. Thelen, G. (1968). Auswahl der Schwingforderer aus der Sicht des erregerund des Schwingsystems. TAKRAF Jnform. 3. [in German].

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ И ПАРАМЕТРАМИ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ ВИБРАЦИОННОГО КОНВЕЙЕРА

Сделан анализ зависимости между отдельными экспериментальными требованиями и параметрами вибрационного конвейера.

Основной проблемой при создании и обосновании параметров новых конструкций вибрационных конвейеров непрерывного действия, которые обеспечивают расширение технологических

возможностей, является уменьшение энергетических ресурсов с улучшенными условиями их эксплуатации, а также разработка методики проектирования их рабочих элементов, имеет важное техническое значение.

Процесс перемещения груза вибрационным конвейером сопровождается сложными явлениями в слое материала. Теоретические исследования, относящиеся к закономерностям движения отдельной материальной точки, можно применять при расчете всего потока только при учете специфических особенностей груза, его физико-механических свойств и влияния сопротивления воздуха. При скачкообразном движении, особенно в закрытых желобах и трубах, под грузом и над ним образуются зоны разрежения и повышенного давления, в большей степени это явление наблюдается при транспортировке пылевидных грузов.

Принципиальное устройство вибрационного конвейера зависит в основном, от типа привода: эксцентрикового, аспирационного, электромагнитного. Установлено влияние режима работы конвейера, а также амплитуды и частоты колебания на скорость транспортировки зерна; зависимость производительности установки от этих параметров.

Экспериментально представлены графики зависимости скорости транспортировки зерна от ширины желоба и амплитуды, а также построены графики зависимости производительности виброконвейера от сложной функции ряда параметров: амплитуды, частоты колебания и т.д.

Ключевые слова: виброконвейер, желоб, амплитуда, частота, скорость транспортировки, производительность, мощность, зерно, влажность.

DEPENDENCE BETWEEN OPERATING REQUIREMENTS AND PARAMETERS OF RATIONAL CHOICE OF THE VIBRATION CONVEYOR DESIGN

An analysis is made of the dependence between the individual experimental requirements and the parameters of the vibratory conveyor.

The main problem in the creation and justification of the parameters of new designs of continuous vibratory conveyors that provide the expansion of technological capabilities is the reduction of energy resources with improved conditions for their operation, as well as the development of methods for designing their working elements is of great technical importance.

The process of moving cargo by a vibrating conveyor is accompanied by complex phenomena in the material layer. Theoretical studies relating to the laws of motion of a single material point can be applied in calculating the entire flow only when taking into account the specific features of the cargo, its physical and mechanical properties and the influence of air resistance. During abrupt movement, especially in closed gutters and pipes, under the load and above it,



rarefaction and high pressure zones are formed, this phenomenon is observed to a greater extent during the transportation of dusty loads.

The basic arrangement of the vibratory conveyor depends mainly on the type of drive: eccentric, aspiration, electromagnetic. The influence of the operating mode of the conveyor, as well as the amplitude and frequency of oscillation on the speed of transportation of grain; dependence of plant performance from these parameters, is established.

Experimental graphs of the dependence of the speed of transporting grain on the width of the trough and amplitude, are presented and also graphs are built showing the performance of the vibratory conveyor on the complex function of a number of parameters: amplitude, vibration frequency, etc.

Key words: vibro conveyor, trough, amplitude, frequency, transportation speed, productivity, power, grain, humidity.

Відомості про авторів

Токарчук Олексій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: tokarchyk@vsau.vin.ua).

Яропуд Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Токарчук Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов та оборудования перерабатывающих и пищевых производств Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: tokarchyk@vsau.vin.ua).

Яропуд Виталий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования сельскохозяйственного производства Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Tokarchuk Oleksii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of technological processes and equipment for processing and food productions of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: tokarchyk@vsau.vin.ua).

Yaropud Vitaliy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).