

ISSN 2307-5732
DOI 10.31891/2307-5732

Науковий журнал



ВІСНИК

**Хмельницького національного
університету**

Технічні науки

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

3.2024

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2024, Issue 2, Volume 337, Part 2

Хмельницький

ISSN 2307-5732

ISSN (online)

Журнал включено до наукометричних баз:

[Google Scholar](#)

[CrossRef](#)

[Index Copernicus](#)

[Журнал розміщено на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського](#)

Видавництво: Хмельницький національний університет (Україна)

Періодичність: 6 разів на рік

Галузь знань: технічні

Мови рукопису: змішаними мовами: українська, англійська

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ: Серія KB № 24922-14862ПР (12.07.2021).

Умови ліцензії: автори зберігають авторські права та надають журналу право першої публікації разом з твором, який одночасно ліцензується за ліцензією Creative Commons Attribution International CC-BY, що дозволяє іншим ділитися роботою з підтвердженням авторства роботи та первинної публікації в цьому журналі.

Заява про відкритий доступ: видання «**Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки**» забезпечує негайний відкритий доступ до свого змісту за принципом, що надання вільного доступу до досліджень для громадськості підтримує більший глобальний обмін знаннями. Повнотекстовий доступ до наукових статей журналу представлений на офіційному веб-сайті в розділі Архіви.

Адреса: Науковий журнал «**Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки**», Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016, Україна.

Тел .: +380984772799

Електронна адреса: visnyk.khnu@khmnu.edu.ua

Веб-сайт: <https://heraldes.khmnu.edu.ua>

ЗМІСТ

ОЛЬГА КОРОТИЧ, ВІТАЛІЙ НЕЙМАК, ЕЛЛА ЗОЛОТЕНКО, ВАДИМ СУХОСТАВСЬКИЙ, ЮРІЙ МИХАЙЛОВСЬКИЙ РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОПОЗИЦІЙНОГО ГІДРОАПАРАТУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ	11-15
ВІКТОР АНІСІМОВ, НАТАЛІЯ КУНАНЕЦЬ КОНЦЕПТУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ ІГРОВИХ МЕХАНІК	16-26
ОЛЕКСІЙ БАБЕНКО, ДМИТРО СТЕПАНОВ, НАТАЛІЯ СТЕПАНОВА МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ ЗА УМОВ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ	27-32
ДМИТРО МАГЕРОВСЬКИЙ, НАТАЛІЯ БОЙКО КОНЦЕПЦІЯ «ЗОНІНГУ СКИДУ» НЕКЕРОВАНОГО ОБ'ЄКТУ З БПЛА ЯК СПОСІБ ВИРШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПОДОЛАННЯ СИМУЛЯТОРНОЇ ХВОРОБИ ВІДПОВІДНО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПЕРАТОРІВ FPV ДРОНІВ	33-39
ЮЛІЯ ВОВК, ОЛЕНА МАТВЄЄВА ЗМІНА ЯКОСТІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В УМОВАХ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ	40-45
ДМИТРО ГАНЖЕЛО, ГЕОРГІЙ ПРОХОРОВ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧИСЛОВОЇ ВИПАДКОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ, ОДЕРЖАНОЇ З КАДРА ВЕБ-КАМЕРИ	46-51
МАКСИМ ГОДУНКО ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗАХВАТНОГО ПРИСТРОЮ РОБОТА ЗА РАХУНОК КОМПЕНСУЮЧОЇ ЛАНКИ ЗАТИСКНОГО ВАЖЕЛЯ	52-56
ОРЕСТ ДАНЧАК, АНДРІЙ ВОЙТЮК ЕФЕКТИВНІ СХОВИЩА ДАНИХ ДЛЯ РІШЕНЬ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	57-63
АНДРІЙ ДИРІВ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ ПЛАГІАТУ ФОРМУЛ В НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЯХ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ПОРІВНЯННЯ НА ОСНОВІ СХОЖОСТІ ЗМІННИХ	64-72
ОЛЕКСАНДР ДУШЕНКО, ВІТАЛІЙ ТКАЧУК ОБЛАДНАННЯ ВХІДНОЇ МАГНІТНО-КАВІТАЦІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ТЕПЛОМЕРЕЖ	73-80
ВОЛОДИМИР ЯРЕМЕНКО, АНДРІЙ ГОЙ ПІДВИЩЕННЯ РОЗЧИНЕННЯ МЕФЕНАМІНОВОЇ КИСЛОТИ ШЛЯХОМ ОДЕРЖАННЯ ПОЛІМЕРНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ У ВИГЛЯДІ ТВЕРДИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ	81-90
РОМАН КАЧАН, АНАСТАСІЯ ТОЛКАЧОВА, ІРИНА КУРІЙ ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ У ФОРМІ ГЕЛЮ З ФУНГІЦИДНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	91-94
ЯРОСЛАВ ОСТАПЕЦЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ МАРКЕРІВ У ЗАДАЧАХ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕНЬ	95-98
ІГОР ПАРХОМЕЙ, ЮЛІЙ БОЙКО, ВІТАЛІЙ ТКАЧУК, ОЛЕГ СВАЧІЙ МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ДОДАТКОВИХ МОДУЛІВ БПЛА	99-108

ВОЛОДИМИР РУТКЕВИЧ, ОЛЕКСІЙ ОСТАПЕНКО, РУСЛАН ЗАЛОГІН ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ НАВАНТАЖУВАЧА З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ ВИРІЗНОГО МЕХАНІЗМУ ДЛЯ ВИВАНТАЖЕННЯ СИЛОСУ ІЗ ТРАНШЕЙНИХ СХОВИЩ	109-114
ДАНИЛО СЕВЕРИНЕНКО РОЗРОБКА ТА НАВЧАННЯ НАЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ RAY	115-118
АНДРІЙ ШТУЦЬ, ІГОР ЗОЗУЛЯК, ДЕНИС БАЛАБАН АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	126-136
АНДРІЙ ШТУЦЬ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ШТАМПУВАННЯ ОБКочУВАННЯМ	137-143
ОЛЕКСАНДР КОЗЛОВСЬКИЙ, МАРИНА ЖАРІКОВА МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ БАГАТОРІВНЕВОГО ФРЕЙМВОРКУ ДЛЯ СИСТЕМИ КІБЕРБЕЗПЕКИ	144-151
АНТОН ІВЛЄВ, ВОЛОДИМИР КОРНЄВ, ВІКТОР БОНДАРЕНКО, НАТАЛІЯ БОНДАРЕНКО ПРИСТРІЙ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ПРИЙМАЧІВ	152-156
ДМИТРО ПЕТРИНА ПОРІВНЯННЯ ШВИДКОСТІ КОРОЗІЇ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ У РІЗНИХ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ	157-161
ЯРОСЛАВ МАТВІЙЧУК, ВОЛОДИМИР ЯЦИШИН ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРА ЧАСТОЧОК ДО ЗАДАЧ САМОЛОКАЛІЗАЦІЇ ЛИШЕ ЗА ВІДСТАННЮ ДО ДЖЕРЕЛ РАДІОСИГНАЛІВ	162-165
ЛЮБОМИР ДРЕВИЧ АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ УТРИМАННЯ ТА СЕГМЕНТАЦІЇ СМУГ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ	166-169
ГЕНТОШ ЛЕСЯ ІГОРІВНА, ЛЕВКОВИЧ РОМАН ЮРІЙОВИЧ ЗАСТОСУВАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	170-175
КОВАЛЕВСЬКИЙ В.В., ВАКАЛЮК Т.А. ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОННИХ СЕРВІСІВ	176-182
ВЛАСЕНКО НАТАЛІЯ ЄВГЕНІВНА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕГІЇ	183-186
К.Т.Н., ДОЦ. КОРБУТ М.Б., Д.Г.-М.Н., ПРОФ. САФРАНОВ Т.А., Д.Т.Н., ПРОФ. МАЛЬОВАНІЙ М.С. <u>МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ВІД ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ</u>	187-196
ОЛЕКСАНДР МАЗУРЕЦЬ, МАРИНА МОЛЧАНОВА, ВАЛЕРІЯ КЛІМЕНКО, ОЛЕНА СОБКО, ПАВЛО СУПРУН ДАТАЛОГІЧНА МОДЕЛЬ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ГЕНДЕРНОЇ ПРИНАЛЕЖНОСТІ ЗА SVM-АНАЛІЗОМ ДОПИСІВ ІНТЕРНЕТ-МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ	197-204
ПАВЛО МІСЮРКА АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ДИНАМІКУ РИНКУ ПРАЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ФАЗОВИХ ПОРТРЕТІВ	205-211

ВІТАЛІЙ ОНАЦЬКИЙ, ВОЛОДИМИР САВІНОВ РОЗРОБКА МЕТОДУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ПРИ ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМИ СПАДКОЄМНОСТІ	212-216
СВІТЛАНА ОНИЩЕНКО, ОЛЕКСАНДР ЛАКТІОНОВ, АЛІНА ГЛУШКО ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕРОРИСТИЧНИХ ТА ВОРОЖИХ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ	217-222
ПОСВІСТАК ВАЛЕРІЙ СЕРГІЙОВИЧ, МІРОШНИЧЕНКО ДМИТРО ВАДИМОВИЧ АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ FPV- ДРОНІВ	223-230
ОЛЕКСАНДР ЧАБАН, ЕДУАРД МАНЗЮК МЕТОД ІНТЕГРУВАННЯ ДОМЕННИХ ЗНАТЬ У БАГАТОСТРАТЕГІЧНУ КЛАСИФІКАЦІЮ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	231-236
П.ПЕЛЕХ ОЦІНКА QOE НА ОСНОВІ ВИМІРЮВАННЯ QOS ДЛЯ ВІДЕО РЕАЛЬНОГО ЧАСУ У БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ	237-245
ВОЛОДИМИР ЩЕРБАНЬ, МАР'ЯНА ГОЛЬДБЕРГ, ГЕННАДІЙ МЕЛЬНИК, АНТОН КИРИЧЕНКО, ЮРІЙ ЩЕРБАНЬ ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ ДЕЙКСТРИ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ НЕОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ РАДІАЛЬНОГО ОХОПЛЕННЯ НА ВАГОВІ ФУНКЦІЇ РЕБР	246-249
СЕРГІЙ ЗАЙКА, КИРИЛ ЩЕРБИНА (ЗАВТОР) ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ КУЛЬКОВО-КЛИНОВОГО ХОНУ В ЗОНІ МАЛИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ	250-254
АНДРІЙ ЮСЬКЕВИЧ ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ РЕКУРЕНТНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ЦИКЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	255-258
ОЛЕКСАНДР АРАТОВСЬКИЙ, ВІРА ЛЮБЧЕНКО ОГЛЯД ПРОБЛЕМ ТА МЕТОДІВ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ДЛЯ БАГАТОПРОЄКТНИХ СЕРЕДОВИЩ ПРОГРАМНИХ ПРОЄКТІВ	259-264
АНДРІЙ БУЧКА КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХОДІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА ОЗНАКОЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ	265-272
ЯРОСЛАВ САВЧЕНКО, СЕРГІЙ ЯГОДЗІНСЬКИЙ, ЛЕОНІД ЛИТВИНЕНКО, ОРЕСТ СУШИНСЬКИЙ АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	273-277
РОМАН ЯРОВИЙ, ОЛЕКСАНДР УЛІЧЕВ, ОЛЕНА СКЛЯРЕНКО, ВАЛЕРІЙ ПАШОРІН МОДЕЛЮВАННЯ МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ	278-284
СЕРГІЙ ПУНДИК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ З АСИМЕТРІЄЮ ПОВЕРХОНЬ СТРУМЕНЯМИ ПОВІТРЯ	285-288
ЮРІЙ РОДІНКОВ, АНТОН САВИЦЬКИЙ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	298-304
РОМАН ШКАРАПУТА, ОКСАНА МЕЛЬНИК, ВІКТОР СПИЦЬКИЙ АНАЛІЗ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННОГО М'ЯСА	305-309

ОЛЕГ ПІЦУН, МИКОЛА БЕРЕЗЬКИЙ , ВІТАЛІЙ ПОВОРОЗНИК, ГРИГОРІЙ МЕЛЬНИК МЕТОД АВТОМАТИЧНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ ІМУНОГІСТОХІМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	310-320
ОЛЕГ ДОЦЕНКО, ОЛЕКСАНДР ШЕЛЕСТЮК, ОЛЕКСАНДР АНТОНЮК, ОЛЕКСАНДР СТРЕМЕЦЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ПОСТРІЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛІЗУ	321-327
АНАТОЛІЙ СПІРІН, ЄВГЕНІЙ ВОЛИНЕЦЬ ВІБРОТРАНСПОРТЕР ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗМІШУВАЧА ХАРЧОВИХ СУМІШЕЙ	328-333
ІВАН КИРИЛОВ, ВІКТОР ШЕВЧЕНКО АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЛИБИНИ КВАНТОВОЇ СХЕМИ ІЛЯ ШВЕДОВ	334-340
ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ, МЕТОДІВ ТА ШЛЯХІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДЛЯ ПРИШВИДШЕННЯ РОБОТИ ВЕБ ЗАСТОСУНКІВ	341-346

SPIRIN ANATOLY

Vinnytsia National Agrarian University

<https://orcid.org/0000-0002-3298-6316>e-mail: spirinanatoly16@gmail.com

VOLYNETS YEVHENII

Vinnytsia National Agrarian University

<https://orcid.org/0000-0002-3298-6316>e-mail: evgeni10596@gmail.com

VIBRATORY CONVEYOR FOR LOADING FOOD MIXTURE MIXER

The uniform supply of components to the mixing chamber is one of the main keys to the high-quality performance of this technological process. Currently, there is a lack of reliable feeders for mixers of food mixtures, especially of low productivity. This led to conducting analytical studies that make it possible to develop an effective design of the feeder, to determine the rational parameters of its work. As the analysis of the existing designs of feeders for loose materials showed, the problem of providing dosed supply of seeds or other particles in small volumes to the working chamber of the mixer can be solved by using oscillating conveyors, in which the transportation process is carried out due to high-frequency oscillations with a small amplitude. Depending on the operating modes, the material can move in the oscillating conveyor without detachment from the working surface (inertial conveyors) or with detachment (vibratory conveyors). Studies have shown that the most effective in terms of ensuring a stable material supply is the detachable mode of operation of bulk material feeders (vibratory type of feeders). In addition, this mode of operation helps to create a fluidized bed of material, which also increases the reliability of the feeders. The analysis of the movement of the seed along the oscillating plane made it possible to determine the influence of the main factors on the rational parameters that ensure a reliable dosed supply of the seed mass to the mixer of low productivity. The use of the proposed vibrating feeder scheme allows for the required performance, but significantly complicates the design of the food mixer. The conducted analytical and experimental studies made it possible to propose rational constructive and technological parameters of the feeder for the mixer of food mixtures of low productivity. It should be noted that when determining the nature of the movement of the seed mass along the oscillating plane, it is necessary to take into account the effect of the fluidized bed, which is the subject of additional research.

Key words: mixer, seed, food mixture, vibration, feeder, amplitude, frequency, coordinate.

СПІРІН АНАТОЛІЙ

Вінницький національний аграрний університет

ВОЛИНЕЦЬ ЄВГЕНІЙ

Вінницький національний аграрний університет

ВІБРОТРАНСПОРТЕР ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗМІШУВАЧА ХАРЧОВИХ СУМІШЕЙ

Рівномірна подача компонентів в змішувальну камеру є однією з головних запорок якісного виконання цього технологічного процесу. Наразі має місце відсутність надійних живильників для змішувачів харчових сумішей, особливо малої продуктивності. Це спонукало проведення аналітичних досліджень які дають змогу розробити ефективну конструкцію живильника, визначити раціональні параметри його роботи. Як показав аналіз існуючих конструкцій живильників сипких матеріалів, задачу забезпечення дозованої подачі насіння або інших частинок в малих об'ємах до робочої камери змішувача можна вирішити шляхом застосування коливних конвеєрів, в яких процес транспортування здійснюється за рахунок коливань високої частоти з малою амплітудою. Аналіз руху насінини по площині, що коливається, дозволив визначити вплив основних факторів на раціональні параметри, що забезпечують надійну дозовану подачу насіннєвої маси до змішувача малої продуктивності. Проведені аналітичні та експериментальні дослідження дозволили запропонувати раціональні конструктивно-технологічні параметри живильника для змішувача харчових сумішей малої продуктивності.

Ключові слова: змішувач, насіння, харчова суміш, вібрація, живильник, амплітуда, частота, координата.

Statement of the problem in a general form and its connection with important scientific or practical tasks

For mixers of food mixtures, in particular for baking, the uniform supply of components plays a decisive role in ensuring the quality of the final product. For example, to prepare a baking mixture with flax seeds or walnut pieces, their uniform feeding into the mixer will then ensure the proper quality of the finished bread, that is, their equal distribution in the volume of the bread. The lack of reliable feeders for supplying additives in the form of whole seeds or other solid parts in a mixer of low productivity, capable of ensuring a stable and uniform supply of material to the mixing chamber, justified the need to conduct own research on this issue. The conducted analytical studies will make it possible to develop the structure of the feeder, to determine the rational parameters of its operation.

Analysis of recent research and publications

As the analysis of the existing designs of feeders for loose materials showed, the problem of providing dosed supply of seeds or other particles in small volumes to the working chamber of the mixer can be solved by using oscillating conveyors, in which the transportation process is carried out due to high-frequency oscillations with a small amplitude. This type of dispensers is widely used in the mining industry, and in recent years - in the engineering and food industry, to ensure stable directional loading of various equipment [1, 2, 3]. The advantage of oscillating conveyors lies in the simplicity of the design and the high reliability of the process, especially with small material

feeds.

Depending on the operating modes, the material can move in the oscillating conveyor without separation from the working surface (inertial conveyors) or with separation (vibration conveyors). Studies have shown that the most effective, from the point of view of ensuring a stable supply of material, is the detachable mode of operation of loose material feeders (vibrating type of feeders) [1, 4]. In addition, this mode of operation contributes to the creation of a fluidized layer of material, which also increases the reliability of the feeders.

The purpose of this article is to ensure a dosed supply of material to the working chamber of low-productivity food mixture mixers by using a vibrating type feeder.

Presentation of the main material of the article

Consider the movement of a seed with a mass of m_3 along the surface AB of a vibrating tray installed with a negative angle of inclination α to the horizon (Fig. 1).

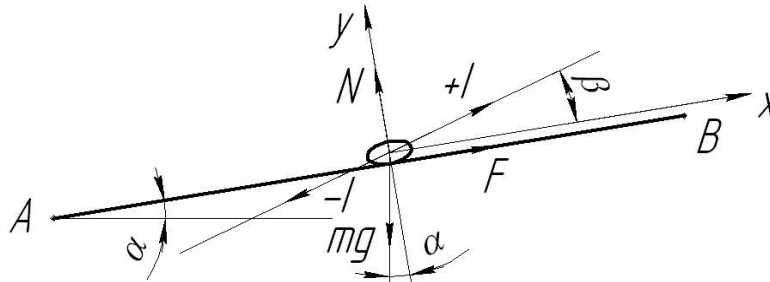


Fig. 1. Scheme of the forces acting on the seed placed on the surface of the vibrating tray

The value of the angle of inclination of the surface of the vibrating tray to the horizon is insignificant and is within, $1^0 \leq \alpha \leq 3^0$ which will ensure a stable dosed supply of seeds without its chaotic shifting along the tray.

If the plane AB is given oscillating movements directed at an angle β to the surface of the plane, then the seed of mass m_3 located on this plane will be acted upon by the force of gravity $G = m \cdot g$, the force of friction $F_T = N \cdot f$, the force of normal pressure N and sign-changing inertial force $I = a \cdot \omega^2 \cdot m_3 \cdot \sin \phi$.

The condition of equilibrium of the seed on the AB surface in the fixed coordinate system XOY can be written in the form:

$$\begin{cases} F_T = m_3 \cdot g \cdot \sin \alpha \pm I \cdot \cos \beta \\ N = m_3 \cdot g \cdot \cos \alpha \pm I \cdot \sin \beta \end{cases} \quad (1)$$

To move the seed along the surface of the tray from point A to point B, the condition must be met:

$$\sum X(F_{x_i}) > 0, \text{ або } I \cdot \cos \beta > m_3 \cdot g \cdot \sin \alpha - F_T,$$

where

$$a \cdot \omega^2 \cdot \sin \phi > \frac{m_3 \cdot g \cdot \sin \alpha - N \cdot f}{m_3 \cdot \cos \beta} \quad (2)$$

Condition (2) can be fulfilled only in the presence of the phenomenon of microdetachment of the seed from the AB surface, i.e. $\sum Y(F_{y_i}) > 0$. The separation of the seed occurs in the case when the pressure force of the seed on the surface of the tray is equal to 0:

$$N = m_3 \cdot g \cdot \cos \alpha - a \cdot \omega^2 \cdot m_3 \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta = m_3 \cdot (g \cdot \cos \alpha - a \cdot \omega^2 \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta), \quad (3)$$

where a – is the amplitude of plane oscillations;

ω – angular velocity of the source of oscillations;

ϕ – phase angle of oscillations, $\phi = \omega t$.

Provided that $g \cdot \cos \alpha > a \cdot \omega^2 \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta$, the seed is pressed against the surface of the tray AB and moves with it, and in the opposite case, when $a \cdot \omega^2 \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta > g \cdot \cos \alpha$ – the seed will come off the surface of the tray. The phase angle of oscillations ϕ varies in the range from 0 to 2π , so the maximum value of the expression $a \cdot \omega^2 \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta$ will be at $\sin \phi = 1 (\phi = \pi/2)$. Therefore, the maximum acceleration relative to the OY axis of the tray (and the seed along with it) will be achieved in the case when $I_{max}^{y^2 \sin \beta}$.

In the event that $g \cdot \cos \alpha = a \cdot \omega^2 \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta$, boundary conditions occur (beginning of separation of the seed from the AB surface). The ratio $\Gamma = \frac{a \cdot \omega^2 \cdot \sin \beta}{g \cdot \cos \alpha} = 1$ is called the limit, and the coefficient Γ is called the dynamic coefficient of the operating mode of the vibrating conveyor. When $\Gamma < 1$, the cargo does not detach from the surface of the tray (inertial conveyors), and when $\Gamma > 1$ – it moves in the detachment mode (vibrating conveyors) [1].

Taking into account that the plane of the tray AB carries out harmonic oscillations under the action of the inertial force I in the direction of its action (at an angle β to the plane AB), the scheme of movement of the seed can be displayed as follows (Fig. 2).

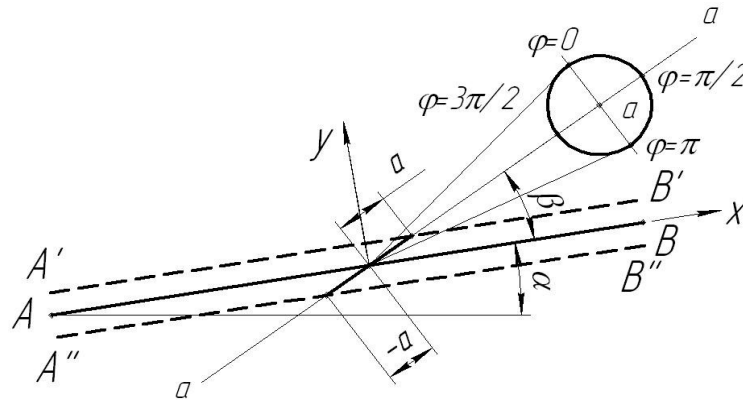


Fig. 2. Scheme of movement of seeds on the tray of the vibratory feeder

The diagram of the movement of the seed along the vibratory tray of the feeder of the mixer under the action of external forces is shown in Figure 3.

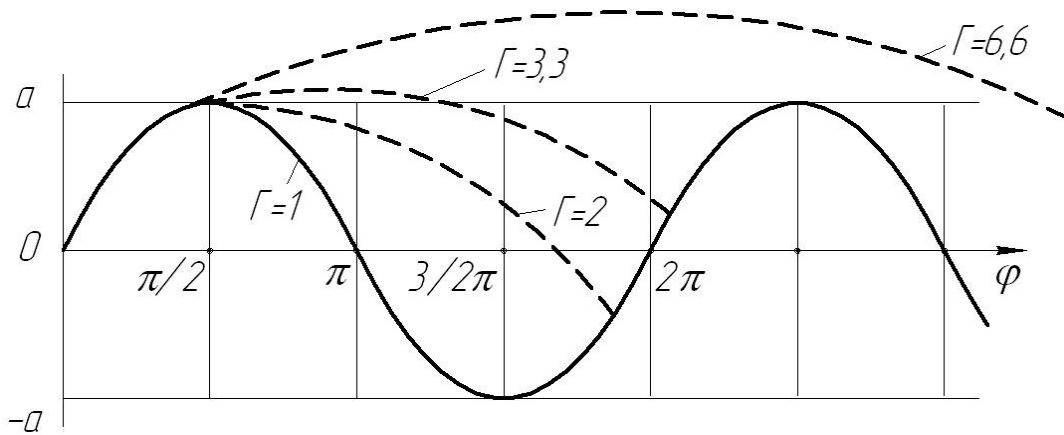


Fig. 3. Diagram of seed movement on the tray of the vibratory feeder

Starting from the middle position ($\varphi_0=0$) the plane AB moves in the a - a direction by the amount of eccentricity a to the uppermost position ($\varphi_1=\pi/2$). In this case, the force of inertia $I = m_3 \cdot a \cdot \omega^2 \cdot \sin \varphi$ will press the seed to the surface AB , and under the condition that $F_T \geq m_3 \cdot g \cdot \sin \alpha \pm I \cdot \cos \beta$, they move together without mutual slippage. With a further increase in the angle φ ($\pi/2 < \varphi < 3\pi/2$), the plane AB moves down a distance of $2a$, the force of inertia tears the seed from the surface of the tray AB and it makes a free flight, the trajectory of which is determined by the throwing angle β , the initial speed of the seed V_0 and depends on the value of the coefficient of the dynamic mode Γ of the vibratory feeder.

The moment of meeting the seed with the surface of the vibrating tray AB must be selected in such a way that it falls on the tray when it is moved forward and up ($3\pi/2 < \varphi < \pi/2$) in a position where the time of their joint movement would be minimal, but sufficient for giving the grain the necessary acceleration for the next separation and movement along the surface of the tray in the direction from point A to B (Fig. 3). Research has established that the following modes of operation of the vibratory feeder should be considered rational, in which the coefficient of the dynamic mode Γ is within $1 < \Gamma < 3.3$. When $\Gamma < 1$, the feeder works as an inertial conveyor, without separation of the material from the surface of the tray, and when $\Gamma > 3.3$, significant dynamic loads occur in the drive system [4].

From the point of view of ensuring a stable supply of material to the mixing chamber, it is necessary to find the speed of its movement along the tray AB in the direction from A to B (along the OX axis). Taking into account the cyclicity of the longitudinal movements of the tray, we determine its maximum speed:

$$V_{J_{max}}^x = \omega^2 a \cos \beta \cos \beta, \tag{4}$$

where $\omega = \pi \cdot \gamma$ is the frequency of oscillations of the tray.

The average speed of the seed in the direction of the OX axis will be less than the maximum speed of the tray, $V_{\text{cep}}^x < V_{J_{max}}^x$. Therefore, to determine the average speed of the grain along the tray, it is necessary to take into account the speed coefficient K_{us} , which is determined from the expression [4]:

$$K_{us} = \frac{V_{\text{cep}}^x}{V_{J_{max}}^x} \tag{5}$$

The value of the K_{us} coefficient depends on the kinematic modes of operation of the vibratory feeder and is determined analytically or graphically by measuring the corresponding areas on the tray speed graph with a planimeter [5].

In the most general case, the movement of seeds on the surface of the vibrating tray can be divided into five stages and, depending on their combinations, six modes of material movement are distinguished [1, 5]. Based on our conditions (high speed of movement of the vibrating tray), we will adopt the 1st mode of seed movement, which includes three stages: acceleration, free flight and braking of the seed (Fig. 4).

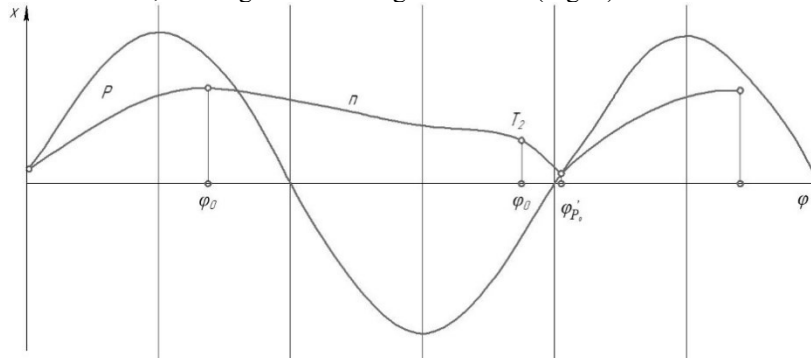


Fig. 4. The schedule of the movement of seeds along the surface of the vibrating tray of the feeder in mode 1

Based on the physical and mechanical properties of the seed and in order to ensure its necessary supply to the mixing chamber (5...15 kg/h), there was a need for an analytical justification of the rational parameters and modes of operation of the vibrating tray of the feeder:

- dimensions and angle of inclination to the horizon of the bottom of the vibrating tray;
- frequency and direction of oscillations of the vibrating tray;
- oscillation amplitudes (crank eccentricity);
- speed of movement of seeds along the vibrating tray.

To ensure the effective movement of seeds along the surface of the vibrator tray in the direction from *A* to *B*, the angle of application of the exciting force of the vibrator should be within $20^{\circ} < \beta < 30^{\circ}$ [4]. It is desirable that the line of action of the exciting force (angle β) passes through the center of inertia of the vibrating tray, which, as a rule, coincides with the center of mass when the nodes of the vibrating feeder are symmetrically placed. In case of non-compliance with this requirement, the system will receive additional loads in the form of torque, which prevents the movement of seeds along the tray and reduces its forward speed.

The loading nozzles of the feeder should not be rigidly connected to the vibrating tray in order not to affect the kinematic modes of its operation.

The application of the proposed scheme of the vibratory feeder allows to ensure the required productivity, but significantly complicates the design of the mixer of food materials. To eliminate this shortcoming, we will hinge one end of the surface at point *O*, and the other will oscillate around this hinge (Fig. 5).

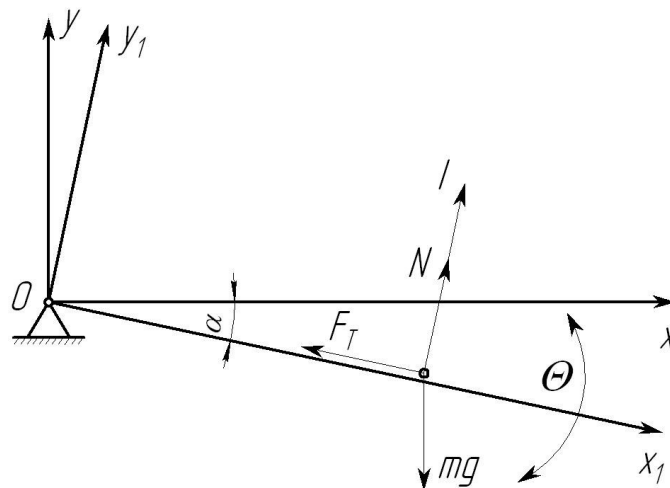


Fig. 5. Analysis of forces acting on a seed that is on a vibrating surface

Let's analyze the trajectories of particle movement on the oscillating surface and the surface itself, taking into account that the surface has an angle of inclination α to the horizontal axis *OX*.

Consider the forces acting on a particle (a seed or elementary volume of material) located on the surface of *OX*₁ at point *x*₁ when it performs angular oscillations with angular parameters θ , $\dot{\theta}$, $\ddot{\theta}$.

From the point of view of ensuring the transportation of material on an oscillating surface, it is important to know the components of displacements, velocities and accelerations of points on this surface. To determine the specified components, consider their angular displacements, velocities and accelerations of surface rotation around point *O*, which are expressed by the following dependencies (Fig. 5):

$$\begin{aligned} \Theta &= \arctg \frac{Y_{1M}}{X_{1M}} = \arctg \frac{r \cdot \sin(\omega t)}{L+r \cdot \cos(\omega t)}; \\ \dot{\Theta} &= \frac{r \cdot \omega \cdot (r+L \cdot \cos(\omega t))}{L^2+r^2+2 \cdot L \cdot r \cdot \cos(\omega t)}; \\ \ddot{\Theta} &= -\frac{L \cdot r \cdot (L^2-r^2) \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t)}{(L^2+r^2+2 \cdot L \cdot r \cdot \cos(\omega t))^2} \end{aligned} \tag{6}$$

In the vertical plane, the material located on the surface of OX_1 (seed, for the sake of simplicity, we will take one seed) acts on the force of gravity $G = m \cdot g$ and the force of inertia I , the projection of which on the axis OY is determined by the expression:

$$I = m \cdot \ddot{\Theta} \cdot x_1 \cdot \cos(\theta + \alpha), \tag{7}$$

where m – is the weight of the seed, kg;

$\ddot{\Theta}$ – angular acceleration of the seed, c^{-2} ;

x_1 – the distance of the seed to the center of oscillations, m.

Then, the condition for separation of the particle (volume element) from the surface of the oscillating plane:

$$m(\ddot{\Theta} \cdot x_1 \cdot \cos(\theta + \alpha) - g) \geq 0 \tag{8}$$

At the moment of separation of the seed from the oscillating surface, the balance equation in the projection on the axis will have the form:

$$m \cdot \ddot{\Theta} \cdot x_1 \cdot \cos(\theta + \alpha) - m \cdot g = 0 \tag{9}$$

Substituting the values of Θ and $\ddot{\Theta}$ from (6) into expression (9), after appropriate transformations, we obtain:

$$\frac{L \cdot r \cdot (L^2 - r^2) \cdot \omega^2 \cdot x_1 \cdot \sin(\omega t)}{(L^2 + r^2 + 2L \cdot r \cdot \cos(\omega t))^2} \cdot \cos\left(\arctg \frac{r \cdot \sin(\omega t)}{L + r \cdot \cos(\omega t)} + \alpha\right) + g = 0 \tag{10}$$

Denoting the left side of equation (10) by G , let's plot graphs $G = f(\omega, r, L, x_1, \alpha, m_3)$ depending on the angle of rotation of the crank $\varphi = \omega t$ the analysis of which showed that the function t at the moment of separation of the seed from the plane is most significantly influenced by the change in the angular speed ω of rotation AM crank. The separation of the seed occurs when the plane is moved from the uppermost position at the moment of the transition of the curve through the X axis ($G = 0$). Fig. 6 shows an example of determining the moment of separation of the seed from the plane at different values of the angular velocity of the crank and with fixed other parameters ($r = 1,5\text{mm}$, $L = 0,2\text{m}$, $x_1 = 0,05\text{m}$, $\alpha = 2^\circ$, $m_3 = 0,04\text{g}$).

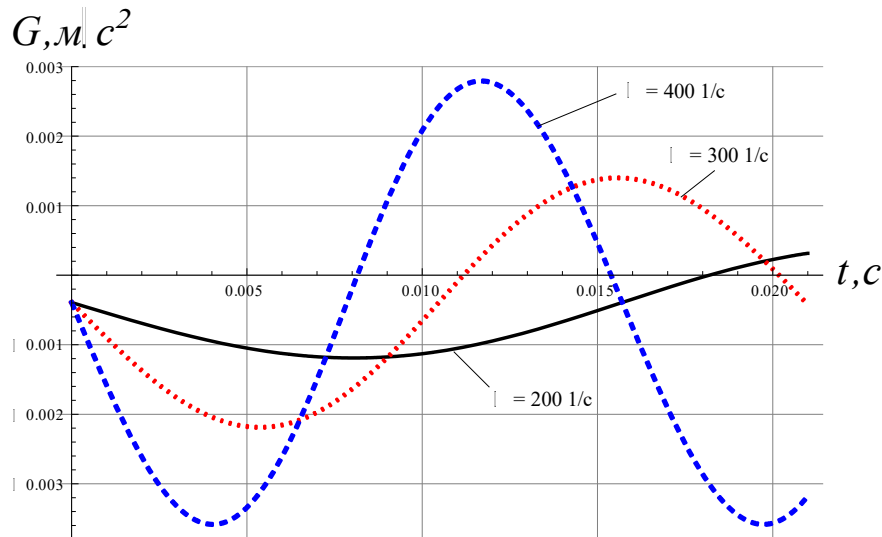


Fig. 6. Determination of the moment of separation of the seed from the vibrating surface at different values of ω

Similarly, the influence of the remaining factors on the conditions of seed separation is determined and dependence graphs are constructed.

Conclusions

The most expedient method of dosed supply of seed mass to the working chamber of a mixer of low productivity should be considered the vibration method, which is characterized by a high frequency of oscillations and a small amplitude.

The analysis of the movement of the seed along the oscillating plane made it possible to determine the influence of the main factors on the rational parameters that ensure a reliable dosed supply of the seed mass to the mixer of low productivity.

The conducted analytical studies are the basis for calculating the numerical values of seed mass supply to the mixer.

It should be noted that when determining the nature of the movement of the seed mass along the oscillating plane, it is necessary to take into account the effect of the fluidized bed, which is the subject of additional research.

Література

1. Гурський В. М. Розробка вібраційного живильника-змішувача з електромагнітним приводом / В. М. Гурський, Я. В. Шпак // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. — 2009. — №. 43. — С. 7 — 16
2. Гаврильченко О. В. Вібраційні конвеєри з незалежними коливаннями / О. В. Гаврильченко, В. С. Шенбор // Упаковка. — 2003 — №3. — С. 30 — 32.
3. Ланець О. С. Обґрунтування конструкції та встановлення параметрів високошвидкісного двомасового резонансного вібраційного транспортера з інерційним приводом / О. С. Ланець, І. А. Деревенько, Ю. Л. Новицький [та ін.] // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. — 2022. — № 56. — С. 48 — 66.
4. Розрахунки підіймальних і транспортувальних машин : підручник / [В.С. Бондарев, О.І. Дубинець, М.П. Колісник та ін.]. — К.: Вища школа, 2009. — 734 с.
5. Arfken G. B. Mathematical Methods for Physicists, 6th edition / G. B Arfken, H. J. Weber. — San Diego: Harcourt, 2005. — 817 p.

References

1. Hurskyi V. M. Rozrobka vibratsiinoho zhyvlynyka-zmishuvacha z elektromahnitnym pryvodom / V. M Hurskyi, Ya. V. Shpak // Avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni. — 2009. — №. 43. — S. 7 — 16.
2. Havrylchenko O. V. Vibratsiini konveiry z nezalezhnymy kolyvanniamy / O. V. Havrylchenko, V. S. Shenbor // Upakovka. — 2003 — №3. — S. 30 — 32.
3. Lanets O. S. Obhruntuvannia konstruktсии ta vstanovlennia parametriv vysokoshvydkisnoho dvomasovoho rezonansnoho vibratsiinoho transportera z inertsiiym pryvodom / O. S. Lanets, I. A. Derevenko, Yu. L. Novytskyi [ta in.] // Avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni. — 2022. — № 56. — S. 48 — 66.
4. Rozrakhunky pidiimalnykh i transportovalnykh mashyn : pidruchnyk / [V.S. Bondariev, O.I. Dubynets, M.P. Kolisnyk ta in.]. — K.: Vyshcha shkola, 2009. — 734 s.
5. Arfken G. B. Mathematical Methods for Physicists, 6th edition / G. B Arfken, H. J. Weber. — San Diego: Harcourt, 2005. — 817 p.