**Омельянов О. М.**

асистент

**Вінницький національний
аграрний університет****Omelyanov O.**

Assistant

**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 621.921****DOI: 10.37128/2306-8744-2021-4-7**

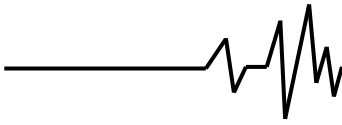
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄМНОЇ ВІБРОСЕПАРАЦІЇ СИПКОЇ ПРОДУКЦІЇ

У статті наведені результати експериментів по оцінці параметрів вібросяпарації при використанні приводу збудження просторових коливань. Серед основних напрямків інтенсифікації вібраційної технологічної дії при сепарації сипкої сільськогосподарської продукції можна відзначити не тільки корегування амплітудно-частотними характеристиками, але й удосконалення геометричних та конструктивних параметрів приводних механізмів. В теперішній час в процесах розділення або класифікації сипучих мас методом ситової сепарації нерухомі сита витісняються ситами, які одержують додатковий силовий імпульс з метою інтенсифікації даного процесу обробки. Розроблена схема досліджуваного процесу віброгрохочіння передбачає похиле розташування робочого органу, що дозволяє реалізувати створення просторових коливань ситової поверхні. Розроблена експериментальна модель грохоту просторових коливань та проведені дослідження дозволили отримати графічні залежності енерговитрат на процес обробки подрібненого зернового матеріалу від зміни масових, геометричних та конструктивних параметрів коливальної системи. При виборі раціонального режиму вібраційного грохочіння сипкої продукції в якості критеріїв оцінки використовували ексцентриситет приводного валу, кут нахилу ситової поверхні, величину енерговитрат та закономірності його зміни в умовах варіювання силового імпульсу при зміні ексцентриситету приводного валу, траєкторії руху ситових елементів та відповідно сипкої маси при зміні кута нахилу робочого контейнера, вимірності коливального руху з плоского на просторовий при відповідному налаштуванні конструктивних параметрів розробленого віброгрохоту. Проведені експериментальні дослідження виявили ефективність використання просторових коливань ситової поверхні при сепарації сипких мас, дозволили обґрунтувати конструктивні параметри вібраційного грохоту.

Ключові слова: вібропривод, вібраційне грохочіння, вібраційний вплив, просторові коливання, ситова поверхня, зернова сировина, сипка маса, енерговитрати на процес.

Вступ. Найбільш повні теоретичні дослідження роботи ситових поверхонь, що здійснюють повздовжні коливальні рухи виконані у фундаментальних роботах І. Є. Кожуховського та П. М. Заїки [1]. Заїка П. М. вперше записав систему диференціальних рівнянь просторового руху робочого органу вібраційної машини з декількома механічними віброзбуджувачами, осі яких довільно орієнтовані у просторі. Ним вирішені завдання руху сільськогосподарських сипких матеріалів по

робочих поверхнях сепараторів за умови, що такі матеріали є дискретні тверді тіла; вирішені завдання пошарових процесів та самосортування, забивання та очищення отворів решіт, просіювання насіння через отвори решіт. В роботах І. Є. Кожуховського отримано залежності якості сепарації плоского решета від основних параметрів: кінематичного режиму роботи та кута нахилу решета до горизонту, кута напрямку коливань, форми та розташування отворів,



розмірів решета та питомого їх завантаження, вологості та засміченості зернового матеріалу.

П. М. Василенко [2] визначив значення критичної швидкості просіювання частинок через отвори решета, при куті нахилу останнього не більше 10° у напрямку сходу частинок, з урахуванням опору повітря.

О. В. Черняков встановив, що бігармонічні коливання решета є одним з ефективних способів поліпшення технологічного процесу сепарації зерна. Ним описано переміщення зернового матеріалу по решету, яке здійснює бігармонічні коливання, розроблено методику розрахунку параметрів ексцентрикового приводного механізму решета з еліптичним шківом, при яких отримано бігармонічний закон його коливань, запропонована та обґрунтована принципова конструктивна схема сепаратора з бігармонічним приводом плоского решета.

Л.М. Тіщенко [3] розробив методи розрахунків інтенсифікації процесів вібровідцентрового сепарування за технологічними показниками продуктивності та якості, створив та впровадив у серійне виробництво динамічні, поверхневі й об'ємні інтенсифікатори, які підвищують продуктивність та якість сепарування зернового матеріалу вібровідцентровими сепараторами.

О. Б. Козій встановив, що якість процесу сепарації зернової сировини на неперфорованій фрикційній коливальній поверхні суттєво залежить від конструктивно-кінематичних параметрів вібраційної зерноочисної машини: амплітуди, частоти та кута спрямованості коливань, а також кутів нахилу робочого органу до горизонту в поздовжньому та поперечному напрямках, в результаті чого, ним обґрунтовані раціональні конструктивно-кінематичні параметри та власне робочі органи вібраційної зерноочисної машини при обробці пшениці, ячменю, вівса та жита [4].

Бакум М. В., Манчинський Ю. О. та Горбатовський О. М. запропонували інтенсифікувати процес сепарації зернового матеріалу на решітному стані за рахунок різного кута встановлення верхнього та нижнього решіт відносно напрямку збуджуючої сили [4-11].

За результатами проведеного аналізу очевидно, що проблемним дослідженням впливу конструкцій приводних механізмів робочих органів роздільних вібросепараторів або грохотів на динаміку їх роботи та енерговитрати приділялось недостатньо уваги, що зумовлює актуальність даного наукового дослідження.

Формування мети досліджень. Метою проведених досліджень є експериментальна оцінка впливу геометричних параметрів приводного механізму вібраційного грохоту сипкого комбікорму з мас подрібненої зернової сировини за умов просторового коливального руху ситових поверхонь на енерговитрати для

створення та підтримання процесу обробки. Для виконання поставленої мети передбачили виконання наступних задач:

- розробка принципів схем віброгрохоту та приводного механізму для надання його робочим органам просторових коливань;

- згідно із представленими схемами розробка експериментальної установки вібраційного грохоту для сепарації сипкого комбікорму з подрібнених зернових компонентів;

- отримання графічних залежностей, які відображають вплив конструктивних параметрів розробленого вібраційного грохоту на зміну енерговитрат на реалізацію досліджуваного процесу сепарації.

Виклад основного матеріалу. При проведенні експериментального аналізу та обґрунтування енергетичних режимних характеристик розробленого вібраційного грохоту (рис.1) з ситовою поверхнею, що здійснює просторові коливання використовували апаратуру ROBOTRON (Німеччина) та спеціальні електротехнічні прилади для визначення енергетичних та амплітудно-частотних характеристик, методи математичного аналізу та їх обробки у математичному середовищі MathCAD для отримання необхідних графічних залежностей. При регулюванні параметрів об'ємних вібрацій сита та інтенсивності коливальної дії у заданій площині змінювали кут нахилу виконавчих органів грохоту, що здійснювалось при допомозі спеціально розробленої втулки.

Структуру сипкого матеріалу комбікорму складали подрібненні маси пшениці (45%), кукурудзи (30%), шроту соняшникового (8%), соєвого жмиху (12%), преміксу (5%), які комплектувались по 5, 10, 15 та 20 кг. У процесі вібросепарації в якості допустимого приймалось: крупність розсипного комбікорму до 3 мм, а залишок на ситі не перевищував 10 %.



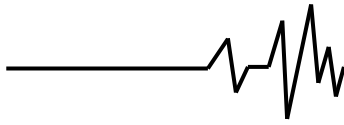


Рис. 1. Фотографії розробленої експериментальної установки вібраційного грохоту та приводного механізму збудження об'ємних коливань.

Розроблений вібраційний сепаратор складається з станини 9 (рис.2), на опорній плиті якої за допомогою розміщених по колу циліндричних пружин 7 встановлена віброплатформа 6, на якій змонтований решітний робочий орган, що може мати як одне, так і декілька конічних або плоских решіт 4. Для виведення розділених фракцій із машини передбачений скатний конус 5 (один або кілька в залежності від кількості решіт) та розвантажувальні лотки 8. В нижній частині конструкції до вібростола кріпиться одновальний віброзбуджувач 10, який приводиться до руху від електродвигуна постійного струму. В верхній частині машини встановлюється бункер 1 на опорах 2, який має регульовальну заслінку 3 для регулювання подачі сипкої продукції в робочий простір машини.

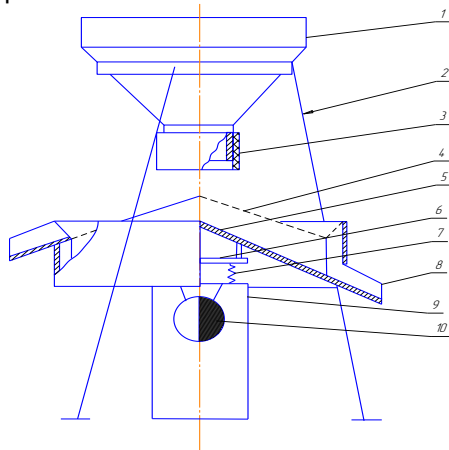


Рис. 2. Схема віброгрохоту з конічною ситовою поверхнею: 1 – бункер; 2 – опора; 3 – заслінка; 4 – сито; 5 – скатний конус; 6 – віброплатформа; 7 – пружний елемент; 8 – вивантажувальний лоток; 9 – станина; 10 – віброзбуджувач.

Віброзбуджувач даного грохоту (рис.3) містить привод вертикального валу 3, що складається з електродвигуна 5 та конічного редуктора 6 та втулки 9, яка встановлена на валу і кінематично зв'язана з сепаратором через підшипники 8. Розміщення втулки на валу з ексцентриситетом, а також виконання її зовнішньої поверхні у вигляді циліндра, вісь якого складає з віссю валу 3 гострий кут φ , забезпечуючи просторові коливання робочих органів машини.

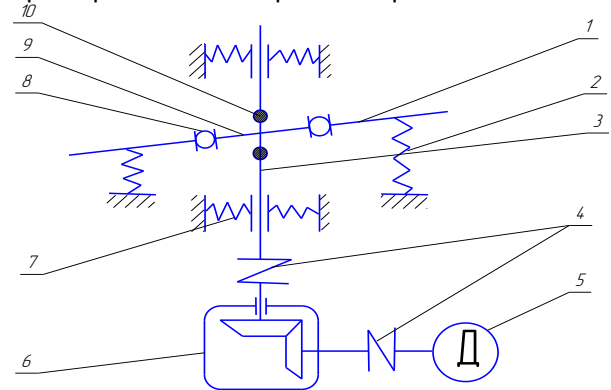


Рис. 3. Схема вібропривода грохоту: 1 – віброплатформа; 2, 7 – пружні елементи; 3 – вал; 4 – муфта; 5 – електродвигун; 6 – конічний редуктор; 8 – підшипниковий вузол; 9 – втулка; 10 – противага.

Привод валу 3 (рис.3) від електродвигуна 5 здійснюється через конічний редуктор 6. Внутрішні кільця підшипників 8 напесовані на втулку 9, яка знаходиться на валу, тому провертаються разом з нею. Зовнішні кільця підшипників 8, а разом з ними віброплатформа 1 та сам сепаратор не провертається, а лише переміщується в радіальному та вертикальному напрямках. Особливістю такого віброприводу є те, що в горизонтальній площині зовнішні обойми підшипників 8 та сепаратор в цілому здійснюють гіраційний рух, тобто поступовий круговий рух з радіусом, що дорівнює величині ексцентриситету внутрішньої поверхні втулки відносно осі обертання валу 3. Пружини 2, які закріплені одним кінцем в нерухомій опорі, обмежують поворот сепаратора відносно власної осі. Крім того, оскільки вісь зовнішньої поверхні втулки нахилена відносно осі валу на кут φ , то зовнішня обойма підшипника та сепаратора в цілому здійснюють коливальний рух у вертикальній площині, що дозволяє виконувати необхідне регулювання параметрів амплітуди коливань короба машини в широких межах. Окрім того, встановлення валу 3 на рамі за допомогою підшипників регульованих пружних упорів 6 дозволяє зменшити динамічні навантаження по всіх підшипниках привода та збільшити термін їх служби.

За результатами експериментальних досліджень були отримані наступні енергетичні залежності (рис. 4 - 8). При збільшенні маси завантаження робочого контейнеру від 5 до 20 кг

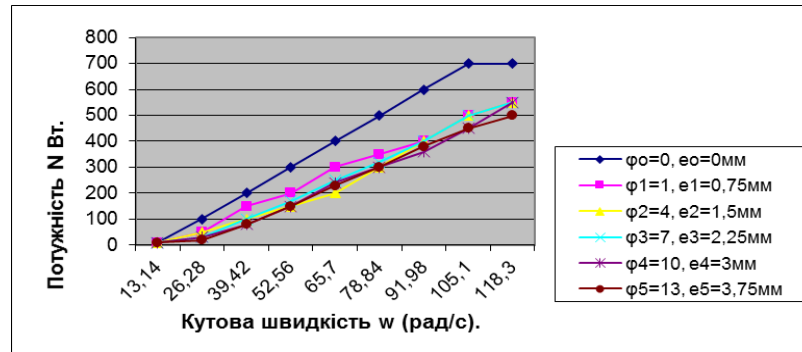
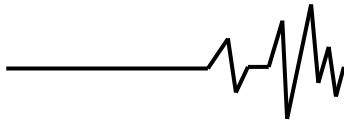


Рис. 7. Графік залежності потужності N_i від кутової швидкості w при зміні кута нахилу осі приводного валу φ та величини його ексцентриситету e

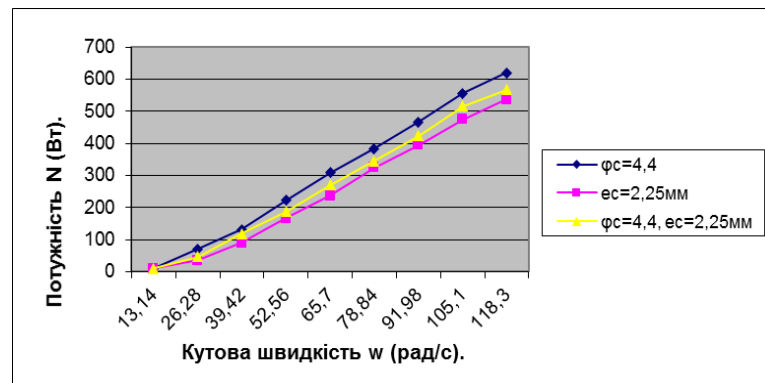


Рис. 8. Графік залежності потужності N_i від кутової швидкості w при середніх значеннях зміни кута нахилу осі приводного валу φ та величини його ексцентриситету e

При зміні кута нахилу осі приводного валу φ на 13° витрати енергії на процес сепарації змінюються на 21,4% (рис. 5), а при зміні величини ексцентриситету приводного валу грохоту e на 3,75 мм енерговитрати зменшуються на 16,7% (рис. 6).

За величини кута нахилу осі приводного валу грохоту $\varphi = 0^\circ$ та значення його ексцентриситету $e = 0$ мм має місце передача контейнеру плоских коливань, при яких спостерігається збільшення витрати енергії на процес на 28,6% порівняно з режимами просторових коливань (рис. 7). Решта представлених на рис. 7-8 робочих параметрів віброгрохоту відповідають передачі просторових коливань, за яких витрати енергії зменшуються на 24 %.

За результатами експериментальних досліджень наведені висновки.

1. Одним з прогресивних напрямків у використанні механічних коливань низької частоти для сепарації сипкої сільськогосподарської продукції є створення апаратів з робочими органами просторової коливальної дії, інтенсивність якої залежить не тільки від амплітуди та частоти коливань їх джерела, а й від способу збудження та передачі коливань, властивостей середовища та геометрії установки.

2. Розроблена експериментальна установка вібраційного грохоту дозволила моделювати режими сепарації сипкої кормосуміші

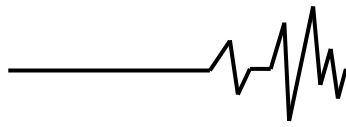
при передачі плоских та просторових коливань, зміні ексцентриситету приводного валу та відповідно амплітуди коливань, варіюванні кута нахилу робочої ситової поверхні та відповідно геометрії коливальних рухів.

3. Енерговитрати при сепарації в умовах плоских коливань збільшуються на 28,6 % порівняно із режимами реалізації просторового руху ситових поверхонь.

Енерговитрати на процес сепарації змінюються більш відчутно при зміні геометрії коливальних рухів (на 21,4%), ніж при зміні амплітуди коливань (на 16,7%). При збільшенні маси завантаження робочого контейнеру експлуатація приводного механізму є більш стабільною, хоча спостерігається збільшення енерговитрат на 14%.

Список використаних джерел

1. Заика П. М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах. К.: УСХА. 1999. 626 с.
2. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. К.: УАСХН, 1960 284 с.
3. Тищенко Л. Н., Пивень М. В. К исследованию движения зерновой смеси на решете под действием вибрации. *Науковий вісник НАУ*. 2002. Вип. 49. С. 329–336.



4. Омельянов О.М., Замрій М.А. Напрямки підвищення ефективності роботи вібраційних технологічних машин. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020 № 4 (99). С. 49-58.

5. Bulgakov V., Sevostianov I., Kaletnik G., Holovach I., Ihnatiev Y. Theoretical studies of the vibration process of the dryer for waste of food. *Rural Sustainability Research*. 2020. Vol. 44 (339). pp. 32-45.

6. Потураев, В.Н., Франчук В. П., Надутый В. П. Вибрационная техника и технологии в энергоёмких производствах. Днепропетровск: НГА Украины, 2002. 190 с.

7. Франчук, В.П. Инженерные методы расчета и выбора динамических параметров вибрационных грохотов, конвейеров, питателей. *Збагачення корисних копалин. Науково-технічний збірник*. 2001. № 12 (53). С. 126-143

8. Кулчук І.М. Перспективи розвитку конструктивних схем вібраційних приводів транспортних і технологічних машин АПК. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. №3 (90). С. 44-52

9. Фалько О. Л., Коваленко А. В. Энергозберігаюча схема роботи вібраційного транспортера з декою нової конструкції. *Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку*: тези доп. VII Міжнар. наук.-практ. конф., 7–9 вересня, 2011 р. Донецьк–Святогірськ. М-во освіти і науки, молоді та спорту України. Донецьк. 2011. С. 196–197.

10. Саленко, Ю.С. Определение рациональных параметров вибрационного транспортера. *Збірник наукових праць Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. 2015 Вип. 2 (44). С. 3–9.

11. Омельянов О.М., Твердохліб І.В. Сучасний стан науково-технічних розробок в області підвищення ефективності вібраційної техніки та технологій. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. №3 (114). С. 75–90.

tehnike i razrobotkakh. №4 (99). S. 49-58. [in Ukrainian].

5. Bulhakov V., Sevost'yanov I., Kaletnik H., Holovach I., Ihnat'yev YU. (2020). Teoretychni doslidzhennya vibratsiynoho protsesu susharky dlya kharchovykh vidkhodiv. *Doslidzhennya staloho rozvytku sil's'kykh rayoniv*. Vol. 44 (339). S. 32-45. [in English].

6. Poturayev, V.N., Franchuk V. P., Naduty V. P. (2002). Vibratsionnaya tekhnika i tekhnologii v energoyemkikh proizvodstvakh. Dnepropetrovsk: NGA Ukrainy, 190 s. [in Russian].

7. Franchuk, V.P. (2001). Inzhenernyye metody rascheta i vybora dinamicheskikh parametrov vibratsionnykh grokhotov, konveyerov, pitateley. *Zbagachennya korisnikh kopalin. Naukovo-tekhnichnyi zbirnik*. № 12 (53). S. 126-143. [in Russian].

8. Kupchuk I.M. (2018). Perspektyvy rozvytku konstruktivnykh skhem vibratsiynikh pryvodiv transportnykh i tekhnolohichnykh mashyn APK. [*Vibratsiyy v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*]. №3 (90). S. 44-52. [in Ukrainian].

9. Fal'ko O. L., Kovalenko A. V. (2011). Enerhozberihayucha skhema roboty vibratsiynoho transporterа z dekoju novoyi konstruktsiyi. [*Problemy kharchovykh tekhnolohiy i kharchuvannya. Suchasni vyklyky i perspektyvy rozvytku*:] tezy dop. VII Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 7–9 veresnya, 2011 r. Donets'k–Svyatohirs'k. M-vo osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrainy. Donets'k. S. 196–197. [in Ukrainian].

10. Salenko, YU.S. (2015). Opredeleye ratsyonal'nykh parametrov vybratsyonnoho transporterа. [*Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noho universytetu «Poltavs'ka politekhnika imeni Yuriya Kondratyuka»*]. Ser. Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo]. Vyp. 2 (44). S. 3–9. [in Russian].

11. Omel'yanov O.M., Tverdokhlib I.V. (2021). Suchasnyy stan naukovo-tekhnichnykh rozrobok v oblasti pidvyshchennya efektyvnosti vibratsiynoyi tekhniky ta tekhnolohiy. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. №3 (114). S. 75–90. [in Ukrainian].

Список джерел у транслітерації

1. Zayika P. M. (1999). Vibratsiynе peremishchennya tverdykh ta sykkykh til u sil's'kohospodars'kykh mashynakh. K.: USKHA, 626 s. [in Russian].

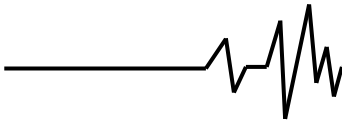
2. Vasylenko P. M. (1960). Teoriya rukhu chastky po shorstkykh poverkhyakh sil's'kohospodars'kykh mashyn. K.: UAS-HN, 284 s. [in Russian].

3. Tyshchenko L. N., Piven' M. V. (2002). Do vyvchennya rukhu zernovoyi sumishi na resheti pid diyeyu vibratsiyyi. *Naukovyy visnyk NAU*. Vip. 49. S. 329-336. [in Russian].

4. Omel'yanov O.M., Zamriy M.A. (2020). Napravleniya povysheniya effektivnosti raboty vibratsionnykh tekhnologicheskikh mashin. [*Vibratsii v*

EXPERIMENTAL EVALUATION OF ENERGY PARAMETERS OF BULK VIBROSEPARATION OF BULK PRODUCTS

The article presents the results of experiments to evaluate vibration parameters when using spatial oscillation excitation drive. Among the main directions of the intensification of the vibration technological action during separation of bulk agricultural products, not only the adjustment of amplitude-frequency characteristics can be noted, but also the improvement of the geometric and structural parameters of the drive mechanisms. Currently, in the processes of separation or classification of bulk masses by the method of sifting separation, fixed sieves are displaced by sieves receiving an additional power pulse in order to intensify this processing



process. The developed scheme of the drained vibration process involves the oblique location of the working body, which allows to implement the creation of spatial oscillations of the sieve surface. The developed experimental model of the spatial oscillation screen and the studies carried out to obtain graphic dependence of the energy consumption on the process of treating crushed grain material from changes in mass, geometric and structural parameters of the oscillating system. When choosing a rational mode of vibration cutting of bulk products as the evaluation criteria used the eccentricity of the drive shaft, the angle of the tilt surface, the value of the energy consumption and the pattern of its change in the conditions of variation of the power pulse when the eccentricity of the drive shaft, the trajectory of the movement of the sieve elements and the, bulk mass by changing the angle the inclination of the working container, the measurability of the oscillatory movement from the flat to the spatial parameters of the developed vibro-industry, corresponding to the configuration of the structural parameters. Experimental studies have shown the effectiveness of the use of spatial oscillations of the sieve surface during separation of bulk masses, made it possible to substantiate the structural parameters of the vibratory screen.

Key words: vibration drive, vibration screening, vibration impact, spatial oscillations, sieve surface, grain raw materials, bulk mass, energy consumption for the process.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМНОЙ ВИБРОСЕПАРАЦИИ СЫПУЧЕЙ ПРОДУКЦИИ

В статье приведены результаты экспериментов по оценке параметров вибросепарации при использовании привода возбуждения пространственных колебаний. Среди основных направлений интенсификации вибрационного технологического действия при сепарации сыпучей сельскохозяйственной продукции можно отметить не только корректировку амплитудно-частотных характеристик, но и усовершенствование

геометрических и конструктивных параметров приводных механизмов. В настоящее время в процессах разделения или классификации сыпучих масс методом ситовой сепарации неподвижные сита вытесняются ситами, получающими дополнительный силовой импульс с целью интенсификации данного процесса обработки. Разработанная схема изучаемого процесса виброгрохочения предполагает наклонное расположение рабочего органа, позволяющего реализовать создание пространственных колебаний ситовой поверхности.

Разработанная экспериментальная модель грохота пространственных колебаний и проведенные исследования позволили получить графические зависимости энергозатрат на процесс обработки измельченного зернового материала от изменения массовых, геометрических и конструктивных параметров колебательной системы. При выборе рационального режима вибрационного грохочения сыпучей продукции в качестве критериев оценки использовали эксцентриситет приводного вала, угол наклона ситовой поверхности, величину энергозатрат и закономерности его изменения в условиях варьирования силового импульса при изменении эксцентриситета приводного вала, траектории движения ситовых элементов и соответственно сыпучей массы при изменении угла наклона рабочего контейнера, измеримости колебательного движения с плоского на пространственное при соответствующей настройке конструктивных параметров разработанного виброгрохота. Проведенные экспериментальные исследования показали эффективность использования пространственных колебаний ситовой поверхности при сепарации сыпучих масс, позволили обосновать конструктивные параметры вибрационного грохота.

Ключевые слова: вибропривод, вибрационное грохочение, вибрационное воздействие, пространственные колебания, ситовая поверхность, зерновое сырье, сыпучая масса, энергозатраты на процесс.

Відомості про авторів

Омельянов Олег Миколайович – асистент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету. Службова адреса: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ 21008

Омельянов Олег Николаевич – ассистент кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета. Служебный адрес: г. Винница, ул. Солнечная 3, ВНАУ 21008

Omelyanov Oleg Mykolaovich – Assistant of the Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety of Vinnitsa National Agrarian University, service address: Vinnitsa st. Sonyachna 3, VNAU 21008