

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 534.111:63

Д.Н. Пирожков, С.А. Сорокин, А.А. Гнездилов
D.N. Pirozhkov, S.A. Sorokin, A.A. Gnezdilov

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРАЦИОННОГО ДОЗАТОРА НА ОСНОВЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

THE DEFINITION OF STRUCTURAL AND KINEMATIC PARAMETERS OF VIBRATION BATCHER ON THE BASIS OF HYDRODYNAMIC MODEL OF LOOSE MATERIAL

Ключевые слова: дозатор, сыпучий материал, гидродинамическая модель, виброоживленный слой, модель Лоренца, амплитуда и частота колебаний.

Использование гидродинамической модели виброоживленного слоя сыпучего материала и модели Лоренца позволяет обосновать конструктивные и кинематические параметры вибрационного дозатора, при которых процесс дозирования будет протекать наиболее качественно. Целью работы является определение конструктивных и кинематических характеристик вибрационного дозатора на основе гидродинамической модели сыпучего материала виброоживленного слоя сыпучего материала. Цель может быть достигнута при решении следующих задач: 1) определить конструктивные параметры вибрационных рабочих органов дозатора сыпучих материалов; 2) определить кинематические параметры вибрационного дозатора, учитывая его конкретные эксплуатационные характеристики. Приведена методика определения конструктивно-кинематических параметров вибрационных машин, работающих с сыпучими материалами. Из исход-

ных требований по массе и габаритам, назначению вибрационного дозатора и его конструктивных особенностей, на основе модели Лоренца определены такие его конструктивно-технологические параметры, как: расстояние между побудительными пластинами, высота пластин, разница между максимально возможной высотой слоя материала над вибродвижателем в районе выгрузного окна и высотой пластин, частота и амплитуда колебаний, при которых обеспечивается наименьшее значение динамической вязкости виброоживленного слоя зерна пшеницы, длина тросовых подвесок, масса дебаланса. Сделан следующий вывод: гидродинамическая модель виброоживленного сыпучего материала предоставляет возможность теоретического расчета не только необходимых параметров вибрации, но и конструктивно-технологических параметров конкретной проектируемой вибрационной машины, что хорошо согласуется с экспериментальными данными и является очень важным при разработке новой или оптимизации работы существующей вибрационной техники.

Keywords: *batcher, loose material, hydrodynamic model, vibroliquefied layer, Lorentz model, oscillation amplitude and frequency.*

The use of vibroliquid layer hydrodynamic model of loose material and Lorentz model enables proving structural and kinematic parameters of a vibration batcher at which dosing process will proceed most qualitatively. The research goal is the definition of structural and kinematic parameters of a vibration batcher on the basis of hydrodynamic model of vibroliquid layer of loose material. The research objectives are as following: 1) to define structural parameters of vibrating working bodies of vibration batcher for loose material; 2) to define kinematic parameters of vibration batcher taking into account its specific performance characteristics. The paper presents a method for determining the structural and kinematic parameters of vibration machines working with loose materials. On the

basis of Lorentz model and proceeding from initial demands of the weight, dimensions and purpose of vibration batcher and its design features, the design and technological parameters are defined: the distance between the stimulating plates, height of stimulating plates, difference between the maximum possible layer height of material above the vibrating floor in the area of the discharge window and the height of the plates, frequency and amplitude of oscillation which provide the least value of vibroliquid layer dynamic viscosity of wheat grain, cable suspension length, unbalance mass. The following conclusion is done: vibroliquid layer hydrodynamic model of loose material provides the possibility of both theoretical calculation of necessary vibration parameters but also the design and technological parameters of a specific designed vibration machine which agrees well with experimental data. It is very important in the development of new or optimization of existing vibration equipment.

Пирожков Дмитрий Николаевич, д.т.н., доцент, декан инженерного фак-та, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3252) 203-360. E-mail: mms.asau@yandex.ru.

Сорокин Сергей Анатольевич, к.т.н., доцент, каф. «Механика и инженерная графика», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3252) 203-364. E-mail: Sorokin_sg@mail.ru.

Гнездилов Александр Анатольевич, к.т.н., доцент, каф. «Механика и инженерная графика», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3252) 203-364. E-mail: agau.sc@mail.ru.

Pirozhkov Dmitriy Nikolayevich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Dean, Engineering Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 203-360. E-mail: mms.asau@yandex.ru.

Sorokin Sergey Anatolyevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Mechanics and Engineering Graphics, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 203-364. E-mail: Sorokin_sg@mail.ru.

Gnezdilov Aleksandr Anatolyevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Mechanics and Engineering Graphics, Altai State Agricultural University. Ph: (3852) 203-364. E-mail: agau.sc@mail.ru.

Введение

Вибрационные машины, используемые для обработки сыпучих материалов, способны выполнять различные, а порой прямо противоположные по своей сути задачи: смешивание и сегрегацию, разрыхление или виброожижение и уплотнение, вспомогательное вибрационное воздействие при разгрузке бункерных устройств и заполнение бункеров. Для того чтобы осуществлять такие разнообразные процессы, движение или динамическое состояние обрабатываемого сыпучего материала должно быть строго определенным. Необходимое в каждом конкретном случае динамическое состояние определяется характером взаимодействия частиц материала с вибрационными рабочими органами, взаимодействием частиц между собой, а также динамикой самих рабочих органов вибрационной машины.

Цель – определить конструктивные и кинематические характеристики вибрационного дозатора на основе гидродинамической модели сыпучего материала.

Задачи:

- 1) определить конструктивные параметры вибрационных рабочих органов дозатора сыпучих материалов;
- 2) установить кинематические параметры вибрационного дозатора, учитывая его конкретные эксплуатационные характеристики.

Объекты и методы

Существующие на сегодняшний день методы расчета вибрационных машин основываются на рассмотрении движения отдельной частицы материала, взаимодействии ее с вибрационными рабочими органами и дальнейшем описании динамики процесса работы самой вибрационной

машины [1-6]. Мы предлагаем иные подходы к проектированию вибрационной техники, работающей с сыпучим материалом. При использовании гидродинамической модели для расчета вибрационной техники могут быть использованы два подхода. Один из них основан на использовании программного обеспечения, используемого в гидродинамике и предложенного нами ранее [7]. Другой же подход учитывает, что сыпучий материал под воздействием вибраций образует сложные самоорганизующиеся пространственные диссипативные структуры и может быть рассмотрен как синергетическая система. Это позволяет свести гидродинамическую модель сыпучего материала к более простой модели, известной в синергетике как система Лоренца:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = rx - y + xz, \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases} \quad (1)$$

где x, y, z – переменные, определяющие скорость движения материала;

σ, r, b – параметры модели Лоренца.

Параметры модели Лоренца функционально связаны с интенсивностью вибрации, а также с конструкцией и характеристиками конкретной вибрационной машины:

$$\begin{aligned} \sigma &= f(a, \omega, h, \nu), \quad r = f(a, \omega), \\ b &= f(h, D), \end{aligned} \quad (2)$$

где a, ω – амплитуда и частота колебаний;

h, D – размеры рабочих органов вибрационной машины;

ν – эффективная кинематическая вязкость виброожиженного сыпучего материала.

Сведение гидродинамической модели к системе Лоренца и использование для оценки хаотичности системы показателей Ляпунова позволяют определять режим движения сыпучего материала без рассмотрения его взаимодействия с самой вибрационной машиной [8, 9].

Экспериментальная часть

Рассмотрим применение предлагаемого метода на примере разработанного в Алтайском ГАУ

вибрационного дозатора. На рисунке 1 представлена нижняя часть дозатора, поскольку именно она играет главную роль в работе всей машины, а верхняя часть представляет собой обычное бункерное устройство.

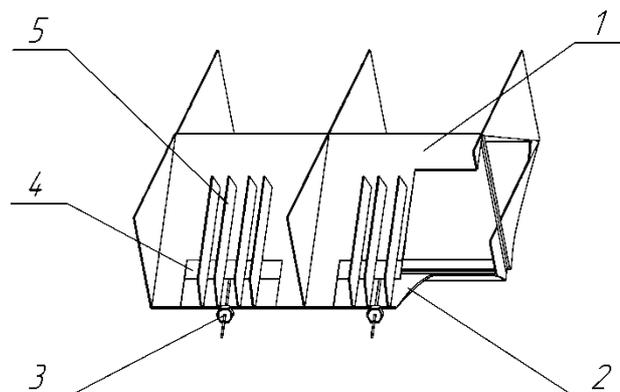


Рис. 1. Рабочие органы вибрационного дозатора

Для предотвращения сводообразования в наддозаторных бункерах служит побудительный конус 1 (рис. 1), по которому материал скользит вниз к дозирующим окнам. Величина подачи материала дозатором регулируется при помощи заслонок 4, приводимых регулировочными винтами 3. Лопатки 5 обеспечивают необходимое динамическое состояние сыпучего материала для наилучшего качества дозирования. Прошедший сквозь дозирующие окна материал стекает по виброднищу 2 к выгрузному окну.

Наиболее важными величинами для создания необходимого динамического состояния дозируемого материала являются: амплитуда и частота колебаний a, ω ; высота и ширина лопаток 5 (рис. 1) h, D ; высота столба материала над лопатками H . В начале расчета задаются предварительными значениями всех указанных выше величин (рис. 2). Затем по результатам экспериментальных данных, полученных в Алтайском ГАУ [10, 11], определяют эффективную кинематическую вязкость ν виброожиженного материала. После этого определяют параметры модели Лоренца σ, r, b . При помощи коэффициентов Ляпунова устанавливают степень хаотичности системы Лоренца (режим движения виброожиженного материала), которая зависит от величин σ, r, b . Если режим движения виброожиженного материала

соответствует необходимому (для дозатора ламинарные циркуляционные потоки материала), то исходные данные H, D, h, a, ω принимаются для дальнейшего расчета вибрационной машины. В противном случае величина исходных данных изменяется с определенным шагом в установленных пределах, а после каждого изменения происходит перерасчет режима движения материала до тех пор, пока не будет получен требуемый режим движения (рис. 2). В том случае, если требуемый режим движения не получен ни при каких значениях исходных данных, необходимо изменить пределы их варьирования, либо изменить конструкцию вибрационной машины.

После того как основные параметры, характеризующие размеры рабочих органов машины и интенсивность вибрации, определены, составляется расчетная схема машины как колебательной системы. Для полученной колебательной системы

составляются дифференциальные уравнения движения самой машины и вибропривода, из которых получают необходимую массу дебалансов, либо другие параметры, зависящие от конструкции вибропривода, обеспечивающие заданную интенсивность вибрации.

Путем расчета согласно алгоритму (рис. 2) были получены следующие параметры дозатора: расстояние между побудительными пластинами $D = 30$ мм, высота пластин h от 25 до 75 мм, разница H между максимально возможной высотой слоя материала над виброднищем в районе выгрузного окна и высотой пластин равна 170 мм, частота колебаний $\omega = 156$ с⁻¹, амплитуда колебаний $a = 0,81$ мм.

Для определения массы дебаланса, обеспечивающей необходимые параметры вибрации, была составлена расчетная схема дозатора (рис. 3).

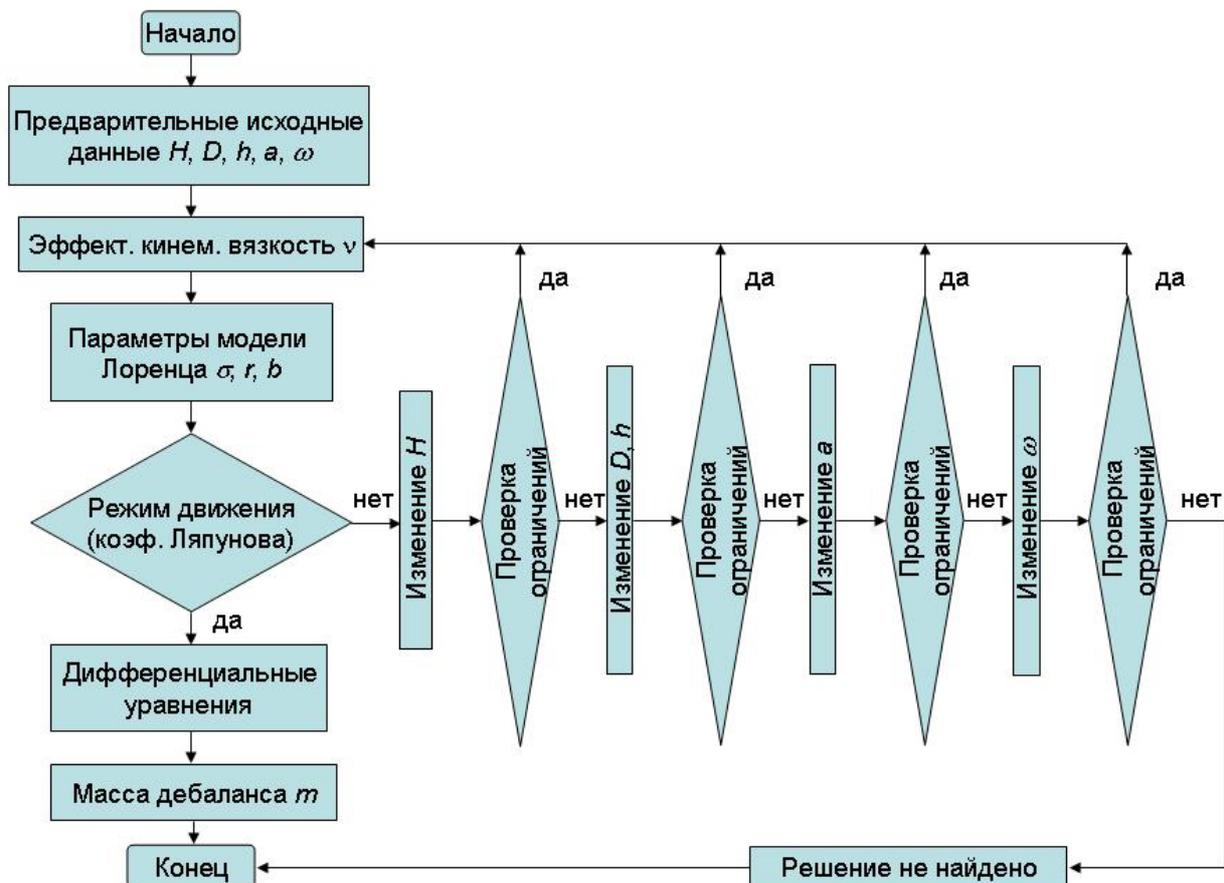


Рис. 2. Блок-схема расчета вибрационного дозатора

Расчетная схема предполагает, что дозатор является двухмассовой вибрационной машиной, в которой вибровозбудитель 1 (рис. 3), включающий дебаланс 7 на упругой подвеске 6, приводится во вращение при помощи электродвигателя (на рисунке не показан) с постоянной угловой скоростью ω . Колебательные движения дебаланса 7, имеющего массу m_1 , передаются дозатору 3, имеющему массу m_2 и закрепленному на тросовых подвесках 5, посредством шатуна 2. Упруго-вязкий элемент 4 моделирует восстанавливающую силу, возникающую при отклонении дозатора от положения равновесия, и силы вязкого сопротивления, возникающей внутри виброоживленного сыпучего материала.

Составляем уравнения Лагранжа второго рода, приняв за обобщенные координаты угол φ и перемещение дебаланса U (рис. 3):

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= F_{\varphi} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{U}} \right) - \frac{\partial T}{\partial U} &= F_U \end{aligned} \quad (3)$$

где t – время;

T – кинетическая энергия системы;

F_{φ}, F_U – обобщенные силы.

Расписав составляющие систему (3) выражения и решив ее относительно массы дебаланса, получаем, что для осуществления колебаний с частотой $\omega = 156 \text{ с}^{-1}$ и амплитудой $a = 0,81 \text{ мм}$, при массе дозатора $m_2 = 60 \text{ кг}$ и длине тросовых подвесок $l = 200 \text{ мм}$, масса дебаланса m_1 составляет $0,4 \text{ кг}$. При массе дебаланса $m_1 = 0,4 \text{ кг}$ решение системы (3) относительно амплитуды движения дебаланса U представлено на рисунке 4.

Так, согласно рисунку 4, наибольшая величина амплитуды дебаланса U соответствует тому положению дебаланса, при котором угол φ равен 0 либо 180° , а наименьшая амплитуда колебания дебаланса $U = 0,81 \text{ мм}$, совпадающая по величине с амплитудой колебаний дозатора, получается при угле φ равном 90° либо 270° , что хорошо согласуется с экспериментальными данными (рис. 5).

Согласно экспериментальным данным (рис.) наименьший коэффициент вариации подачи цельной пшеницы, составляющий менее 3% при подаче двумя секциями свыше 300 кг/ч , дозатором был достигнут при следующих параметрах: частота колебаний $\varphi = 156 \text{ с}^{-1}$; амплитуда колебаний a от $0,91$ до $1,09 \text{ мм}$, параметр $b = 0,55$; при массе дозатора $m_2 = 60 \text{ кг}$.

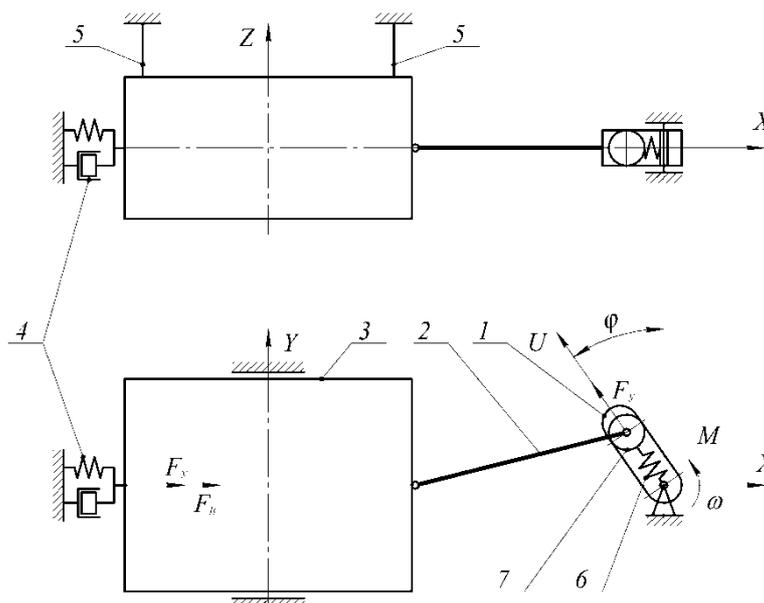


Рис. 3. Расчетная схема вибрационного дозатора

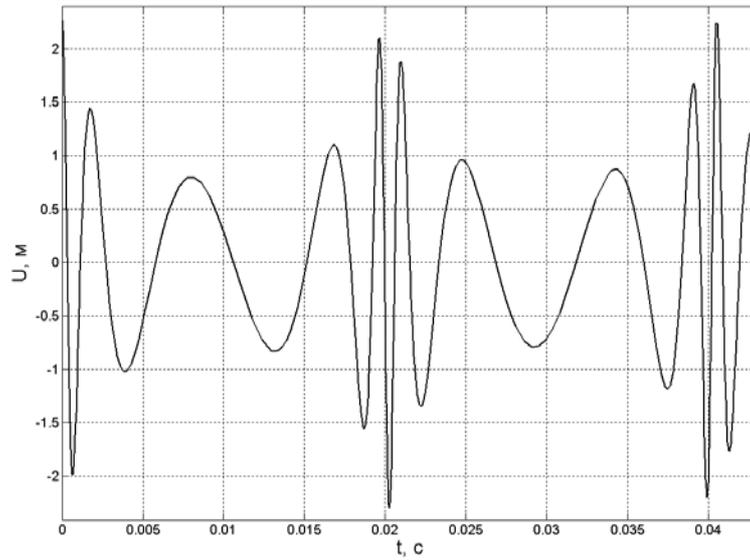


Рис. 4. График зависимости координаты U от времени

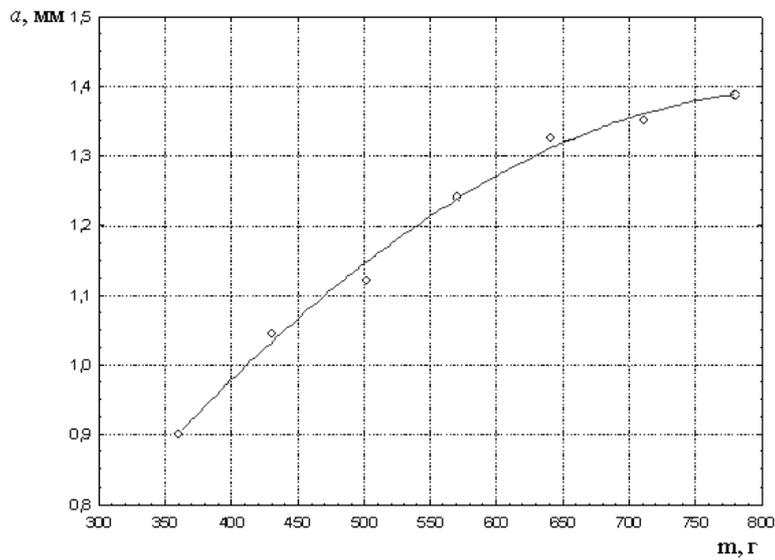


Рис. 5. Зависимость амплитуды колебаний от массы дебаланса

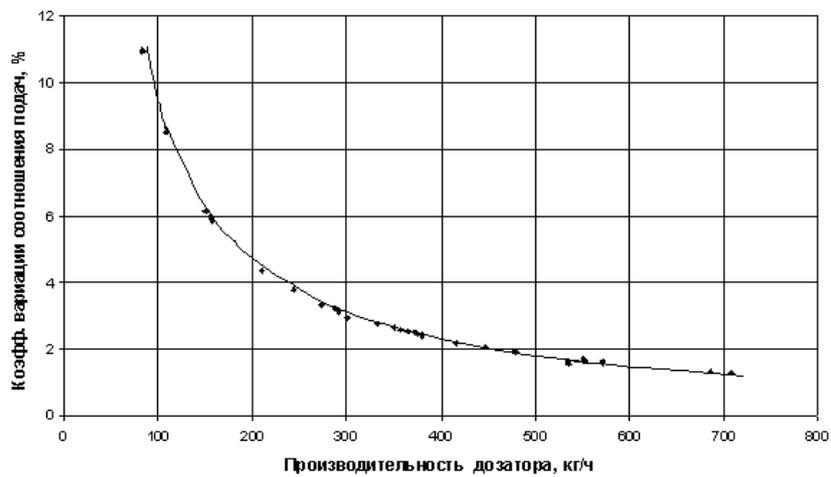


Рис. 6. Зависимость коэффициента вариации подачи от производительности вибрационного дозатора

Заключение

Гидродинамическая модель виброоживленного сыпучего материала предоставляет возможность теоретического расчета не только необходимых параметров вибрации, но и конструктивно-технологических параметров конкретной проектируемой вибрационной машины, что хорошо согласуется с экспериментальными данными и является очень важным при разработке новой или оптимизации работы существующей вибрационной техники.

Библиографический список

1. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. – М.: Наука, 1964. – 412 с.
2. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники. – М.: Машиностроение, 1968. – 362 с.
3. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1980. – 304 с.
4. Заика П.М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
5. Сливаковский А.О., Гончаревич И.Ф. Вибрационные конвейеры, питатели и вспомогательные устройства. – М.: Машиностроение, 1972. – 328 с.
6. Пирожков Д.Н. Виброкипящий слой: математические модели и использование в технологии // Сб. ст. юб. Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул, 2003. – Ч. 1. – С. 144-147.
7. Федоренко И.Я., Пирожков Д.Н., Гнездилов А.А. Методы расчета вибрационных машин на основе гидродинамических моделей сыпучего материала // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – № 5. – С. 93-98.
8. Пирожков Д.Н. Методика расчета вибрационного дозатора на основе гидродинамической модели сыпучего материала // Хранение и переработка с.-х. сырья. – 2010. – № 11. – С. 73-75.
9. Федоренко И.Я., Пирожков Д.Н. Динамика виброоживленного слоя сельскохозяйственного материала // Вестник Российской академии с.-х. наук. – 2006. – № 6. – С. 13-15.
10. Федоренко И.Я., Пирожков Д.Н. Вибрируемый зернистый слой в сельскохозяйственной технологии: монография. – Барнаул: Изд-во АГАУ. – 2006. – 166 с.

11. Гнездилов А.А., Пехтерев К.А., Пирожков Д.Н., Сорокин С.А. Пирожков Д.Н. Изменение эффективной вязкости дисперсных сыпучих материалов под воздействием вибрации // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2006. – № 4. – С. 50-53.

Referenes

1. Blekhman I.I., Dzhanelidze G.Yu. Vibratsionnoe peremeshchenie. – M.: Nauka, 1964. – 412 s.
2. Bykhovskiy I.I. Osnovy teorii vibratsionnoy tekhniki. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 362 s.
3. Gortinskiy V.V., Demskiy A.B., Boriskin M.A. Protsessy separirovaniya na zernopererabatyvayushchikh predpriyatiyakh. – M.: Kolos, 1980. – 304 s.
4. Zaika P.M. Dinamika vibratsionnykh zernoochistitelnykh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 278 s.
5. Spivakovskiy A.O., Goncharevich I.F. Vibratsionnye konveyery, pitатели i vspomogatelnye ustroystva. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 328 s.
6. Pirozhkov D.N. Vibrokipyashchiy sloy: matematicheskie modeli i ispolzovanie v tekhnologii // Sb. st. Yub. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Barnaul, 2003. – Ch. 1. – S. 144-147.
7. Fedorenko I.Ya., Pirozhkov D.N., Gnezdilov A.A. Metody rascheta vibratsionnykh mashin na osnove gidrodinamicheskikh modeley sypuchego materiala // Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. – 2007. – No. 5. – S. 93-98.
8. Pirozhkov D.N. Metodika rascheta vibratsionnogo dozatora na osnove gidrodinamicheskoy modeli sypuchego materiala // Khranenie i pererabotka s.-kh. syrya. – 2010. – No. 11. – S. 73-75.
9. Fedorenko I.Ya., Pirozhkov D.N. Dinamika vibroozhivennogo sloya selskokhozyaystvennogo materiala // Vestnik Rossiyskoy akademii s.-kh. nauk. – 2006. – No. 6. – S. 13-15.
10. Fedorenko I.Ya., Pirozhkov D.N. Vibriruemyy zernisty y sloy v selskokhozyaystvennoy tekhnologii: monografiya. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2006. – 166 s.
11. Gnezdilov A.A., Pekhterev K.A., Pirozhkov D.N., Sorokin S.A. Izmenenie effektivnoy vyazkosti dispersnykh sypuchikh materialov pod vozdeystviem vibratsii // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2006. – No. 4. – S. 50-53.