УДК 025.48:[537:621.315.592]

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-13-17

**ПРИБЛИЖЁННЫЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА
ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА**¹Алимжанов Мурат Дуанбаевич²Костюченков Николай Васильевич¹Берсугир Мухамади Амирович¹Калиев Адильбек Бекбулатович¹НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева»²НАО «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина»

Реферат. В различных отраслях промышленности применяют вибрационные грохоты с самосинхронизирующимся приводом. В инженерных расчетах необходимо оценивать значения различных параметров движения частиц по вибрирующему наклонному сити. Комплексные исследования процессов фракционирования и транспортирования материала по вибрационному грохоту, расчет кинетики рассева и времени пребывания частиц на сите требуют больших материальных и трудовых затрат. Разрабатывали приближенный инженерный метод выбора параметров вибрационного грохота. Рассматривали предложенную модель вибрационного грохота с самосинхронизирующимся приводом. Отметили, что особенностью привода является шарнирное соединение, позволяющее сохранять устойчивый режим синхронно-синфазного вращения дебалансов. Изучали безотрывное движение материальной частицы по вибрирующему наклонному сити. Составлены дифференциальные уравнения относительного движения материальной частицы находящейся на наклонной платформе грохота при безотрывном режиме. В динамическом процессе учитывали силы сопротивления в виде силы сухого трения. Найдена приближенная зависимость средней скорости движения частицы от параметров системы и проведен их анализ. Установлено, что зависимости углов подъема или опускания материальной частицы от вибрации носят линейный характер. Высказаны соображения для инженерных расчетов по выбору зависимостей углов подъема, либо опускания материальной частицы от угла вибрации.

Ключевые слова: приближенный, метод выбора, динамическая модель, вибрационный грохот, вибровозбудитель, самосинхронизирующийся привод.

**APPROXIMATE ENGINEERING METHOD OF PARAMETERS SELECTION
OF THE VIBRATING SCREEN**¹Alimzhanov Murat²Kostyuchenkov Nikolai¹Bersugir Muchamadi¹Kaliev Adilbek¹NJC "L.N. Gumilyov Eurasian National University"²NCJSC "S. Seifullin Kazakh Agro Technical University"

Abstract. Vibrating screens with a self-synchronizing drive are used in various industries. The values of various parameters of the movement of particles along a vibrating inclined sieve must be estimated in engineering calculations. Comprehensive studies of the processes of fractionation and transportation of material through a vibrating screen, calculation of the kinetics of sieving and the residence time of particles on the sieve require large material and labor costs. An approximate engineering method for selecting the parameters of a vibrating screen was developed. The proposed model of a vibrating screen with a self-synchronizing drive was considered. It was noted that a feature of the drive is a swivel joint, which allows maintaining a stable mode of synchronous-in-phase rotation of the unbalances. The uninterrupted movement of a material particle along a vibrating inclined sieve was studied. Differential equations of the relative motion of a material particle located on an inclined platform of a screen in a

continuous mode are compiled. Resistance forces in the form of dry friction force were taken into account in the dynamic process. The approximate dependence of the average velocity of the particle motion on the parameters of the system is found and their analysis is carried out. It was found that the dependences of the angles of ascent or descent of a material particle on vibration are linear. Considerations for engineering calculations on the choice of the dependences of the angles of ascent or descent of a material particle on the angle of vibration are expressed.

Keywords: approximate, selection method, dynamic model, vibrating screen, vibration exciter, self-synchronizing drive.

Введение. В различных отраслях промышленности применяют вибрационные грохоты с самосинхронизирующимся приводом. Такое оборудование находит широкое применение и в АПК для просеивания зерна, злаковых и бобовых культур. Грохочение, как механическое фракционирование сыпучей среды, привлекательно тем, что относится к малоэнергоемким процессам [1]. Обычно под грохочением понимают не менее трех связанных друг с другом процессов. Во-первых, это движение частиц под действием сегрегационного и диффузионного механизмов к поверхности сита. За счет сегрегации мелкие частицы быстрее оказываются у отверстий сита, а крупные - перемещаются в верхнюю часть сыпучего слоя. При диффузионном перемещении движение частиц равновероятно во всех направлениях. Во-вторых, это проход частиц (мелких) через отверстия сита. На этот процесс влияет размер частиц, амплитуда и частота колебаний сита, угол наклона просеивающей поверхности к горизонту, угол направления вектора скорости движения частицы к плоскости сита в момент соприкосновения и многие другие. В-третьих, это движение слоя сыпучего материала по вибрирующей поверхности.

Известны различные модели, описывающие процесс грохочения: эмпирические, детерминистические, основанные на механике сплошной среды и стохастические [1 – 8]. Большинство из них связаны с решением сложных уравнений механики многофазных сред [1 – 3]

Совершенствование существующих, а также создание новых моделей вибрационных грохотов является актуальной задачей. В инженерных расчетах необходимо оценивать значения различных параметров движения частиц по вибрирующему наклонному сити. Комплексные исследования процессов фракционирования и транспортирования материала по вибрационному грохоту, расчет кинетики рассева и времени пребывания частиц на сите требуют больших материальных и трудовых затрат. Поэтому разработка приближённого инженерного метода выбора параметров вибрационного грохота также актуальна.

Результаты и обсуждение. Динамическая модель вибрационного грохота с самосинхронизирующимся приводом представлена на рисунке 1.

- 1 – двухвальный вибровозбудитель, 2 – дебалансы, 3 – шарнир, 4 – упругие элементы,
5 – корпус, 6 – опорные упругие элементы с коэффициентом жесткости C ,
7 – регулируемые наклонные сита, расположенные под углом α к горизонту

Рисунок 1 – Динамическая модель вибрационного грохота

Виброгрохот включает в себя центробежный двухвальный вибровозбудитель 1 с дебалансами 2, который связан с корпусом 5 вибрационного грохота с помощью шарнира 3 и упругими элементами 4. Корпус 5 опирается на упругие элементы 6 с коэффициентом жесткости C . В корпусе 5 имеются регулируемые наклонные сита 7, расположенные под углом α к горизонту.

Работа вибрационного грохота осуществляется следующим образом. При вращении дебалансов 2 в противоположные стороны шарнирное соединение 3 позволяет сохранять режим самосинхронизации за счет угловых колебаний корпуса вибровозбудителя 1, а также менять угол вибрации. Упругие элементы 4 удерживают вибровозбудитель под заданным углом вибрации. При этом линия действия направленной возбуждающей силы $A \sin \omega t$, генерируемой вибровозбудителем, пересекает центр тяжести всей системы.

Дифференциальные уравнения относительного движения материальной частицы, находящейся на сите, при безотрывном режиме имеют вид:

$$\begin{aligned} m\ddot{z} &= mA\omega^2 \cos \beta \sin \omega t - mg \sin \alpha + F; \\ m\ddot{y} &= mA\omega^2 \sin \beta \sin \omega t - mg \cos \alpha + N, \end{aligned} \quad (1)$$

где A – амплитуда колебаний; ω – частота колебаний; m – масса материальной частицы; β – угол наклона линии действия вынуждающей силы (угол вибрации); α – угол наклона сит к горизонту; g – ускорение свободного падения; N – нормальная реакция; F – сила сопротивления перемещению материальной частицы в виде силы сухого трения ($F = fN$); f – коэффициент трения.

Исходя из инженерной практики приближенных расчетов, представим зависимость средней скорости движения материальной частицы, находящейся на наклонном сите, от параметров системы в виде [9]:

$$V = A\omega\Phi\left(\frac{A\omega^2}{g}, \alpha, \beta, f\right), \quad (2)$$

где Φ – безразмерная функция параметров системы.

Используем в дальнейшем общепринятые допущения [8, 9]. При рассмотрении поставленной частной задачи установлено, что средняя скорость движения материальной частицы зависит в основном от параметров системы A, ω, g . На изменение средней скорости основное влияние оказывает амплитуда ускорения колебаний $A\omega^2$. В нашем случае следует $\frac{A}{\omega^2}$ считать, как соответствующее $\frac{A}{m}$ и при значениях $A = const$, $\omega = const$, $\alpha = const$, когда изменяется угол вибрации β , происходит изменение средней скорости материальной частицы.

При увеличении угла наклона α средняя скорость движения материальной частицы уменьшается.

Подъем материальной частицы по наклонному сити может осуществляться в данном случае при условии:

$$\tan \alpha \leq f^2 \tan \beta. \quad (3)$$

На рисунке 2 представлен приближенный график зависимостей углов подъема либо опускания материальной частицы от угла вибрации.

Рисунок 2 – График зависимостей углов подъема α материальной частицы от угла вибрации β

Если параметры системы соответствуют $A\omega^2 \approx \frac{A}{m} \approx 2g$, $f \approx 0,7$, то как следует из графика, при принятых общих допущениях область существования движения материальной частицы по наклонному вибрационному сити расположена снизу $V > 0$.

Область существования опускания частицы расположена в верхней части графика $V < 0$.

Пунктирной линией показана найденная теоретическая прямая, которая разделяет области существования различных движений материальной частицы.

Следует отметить, что при рассмотрении других, более сложных, режимов движения частицы, в частности, режимов с подбрасыванием необходимо использовать более современный аппарат расчета, учитывающий многие параметры движения в безразмерных величинах.

Выводы. Рассмотрена упрощенная модель вибрационного грохота и описана ее динамика, на основании которой показаны графики изменения зависимостей параметров системы.

1. Несмотря на несовершенство представленной модели, тем не менее она позволяет оценить в инженерных расчетах значения параметров безотрывного движения материальной частицы по вибрирующему наклонному сити.

2. Показано, что в пределах выбранных диапазонов изменения параметров результаты исследований согласуются с теоретическими данными.

Список литературы

1. Мизонов, В.Е. Процессы сепарации частиц в виброожиженном слое: моделирование, оптимизация, расчет / В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов, С.В. Федосов, А.В. Огурцов // ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет». – Иваново, 2010. – 192 с.

2. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения / Под ред. Л.А. Вайсберга. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2005. - 252 с.

3. Акулова, М.В. Моделирование процесса классификации сыпучих материалов на виброгрохотах с многоярусной компоновкой сит / М.В. Акулова, А.П. Алешина, Ал.В. Огурцов, Ан.В. Огурцов // Вестник МГСУ. – №2. – 2013. – С. 80–87.

4. Федосов, С.В. Моделирование процесса классификации полидисперсных материалов на виброгрохотах / С.В. Федосов, В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов // Строит. материалы. – 2007. – № 11. – С. 26 – 28.

5. Огурцов, В.А. Моделирование кинетики виброгрохочения на основе теории цепей Маркова / В.А. Огурцов, С.В. Федосов, В.Е. Мизонов // Строит. материалы. – 2008. – № 5. – С. 33 – 35.

6. Огурцов, В.А. Расчетное исследование движения частиц по поверхности виброгрохота / В.А. Огурцов, В.Е. Мизонов, С.В. Федосов // Строит. материалы. – 2008. – № 6. – С. 74 – 75.

7. Огурцов, В.А. Моделирование движения частиц над поверхностью сита виброгрохота / В.А. Огурцов // Строит. материалы. – 2008. – № 8. – С. 72 – 73.

8. Блехман И.И. Вибрационная механика. – М., 1994. – 400 с.

9. Вибрации в технике: справочник. – Т.4: Вибрационные машины и процессы. / под ред. Э.Э. Лавендела. – М., 1981. – 509 с.

References

1. Mizonov, V.E. Processy separacii chastic v vibroozhizhennom sloe: modelirovanie, optimizacija, raschet / V.E. Mizonov, V.A. Ogurcov, S.V. Fedosov, A.V. Ogurcov // GOU VPO «Ivanovskij gosudarstvennyj jenergeticheskij universitet im. V.I. Lenina», «Ivanovskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet». – Ivanovo, 2010. – 192 s.

2. Vajsberg L.A., Kartavyj A.N., Korovnikov A.N. Proseivajushhie poverhnosti grohotov. Konstrukcii, materialy, opyt primenenija / Pod red. L.A. Vajsberga. SPb.: Izd-vo VSEGEI. 2005. - 252 s.

3. Akulova, M.V. Modelirovanie processa klassifikacii sybuchih materialov na vibrogrohotah s mnogojarusnoj komponovkoj sit / M.V. Akulova, A.P. Aleshina, Al.V. Ogurcov, An.V. Ogurcov // Vestnik MGSU. – №2. – 2013. – S. 80–87.

4. Fedosov, S.V. Modelirovanie processa klassifikacii polidispersnyh materialov na vibrogrohotah / S.V. Fedosov, V.E. Mizonov, V.A. Ogurcov // Stroit. materialy. – 2007. – № 11. – S. 26 – 28.

5. Ogurcov, V.A. Modelirovanie kinetiki vibrogrohochenia na osnove teorii cepej Markova / V.A. Ogurcov, S.V. Fedosov, V.E. Mizonov // Stroit. materialy. – 2008. – № 5. – S. 33 – 35.

6. Ogurcov, V.A. Raschetnoe issledovanie dvizhenija chastic po poverhnosti vibrogrohota / V.A. Ogurcov, V.E. Mizonov, S.V. Fedosov // Stroit. materialy. – 2008. – № 6. – S. 74 – 75.
7. Ogurcov, V.A. Modelirovanie dvizhenija chastic nad poverhnost'ju sita vibrogrohota / V.A. Ogurcov // Stroit. materialy. – 2008. – № 8. – S. 72 – 73.
8. Blehman I.I. Vibracionnaja mehanika. – M., 1994. – 400 s.
9. Vibracii v tehnike: spravochnik. – T.4: Vibracionnye mashiny i processy. / pod red. Je.Je. Lavendela. – M., 1981. – 509 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Алимжанов Мурат Дуанбаевич – кандидат технических наук, профессор Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: murat2151@mail.ru.

Костюченков Николай Васильевич – доктор технических наук, профессор акционерного общества «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: Kostyuchenkov_NV@mail.ru.

Берсугир Мухамеди Амирович – кандидат физико-математических наук, профессор Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: bersugir68@mail.ru.

Калиев Адильбек Бекбулатович – кандидат технических наук, профессор Некоммерческого акционерного общества «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казахстан, г. Нур-Султан, e-mail: adilbekk@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Alimzhanov Murat – Candidate of Technical Sciences, Professor of non-profit join-stock company “L.N. Gumilyov Eurasian National University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: murat2151@mail.ru.

Kostyuchenkov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of noncommercial join stock company “S. Seifullin Kazakh Agro Technical University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: Kostyuchenkov_NV@mail.ru.

Bersugir Muchamadi – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of non-profit join-stock company “L.N. Gumilyov Eurasian National University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: bersugir68@mail.ru.

Kaliev Adilbek – Candidate of Technical Sciences, Professor of non-profit join-stock company “L.N. Gumilyov Eurasian National University”, Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: adilbekk@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 26.02.2021 Принята к публикации (Accepted): 29.03.2021

УДК 631.312.63

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-17-23

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МАСШТАБНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МЕЛИОРАТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

¹Венкова Надежда Валерьевна

¹Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Реферат. Применяемые современные технологии печати 3D могут обеспечить современного ученого необходимым количеством физических моделей для проведения экспериментов, значительно снизив время на производство, стоимость моделей и повысив точность изделий. Изучали применение 3D технологий для изготовления физических моделей. Проанализированы преимущества распространенных технологий печати. Подбирали оптимальный филамент для печати модели плужного каналокопателя типа МК-16 в масштабе 1:10 на 3D принтере Anycubic Predator. Показано, что многообразие филаментов и возможность обработки при печати экспериментальных рабочих органов на 3D принтере, позволяют максимально близко подойти к