

УДК.664.7:621.929.9

В.Д. ИЛЬЧЕНКО, Н.В. ГУЧЕВА**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО СМЕШИВАНИЮ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ВИБРАЦИОННОМ СМЕСИТЕЛЕ**

Представлены результаты экспериментов по определению энергии на вибрационное смешивание сыпучих материалов. На основе теоремы Карно о не вполне упругом ударе построена зависимость энергии смешивания от параметров вибрации и механических свойств материала.

Ключевые слова: *вибрационный смеситель, сыпучий материал, мощность на смешивание.*

Введение. Существует множество различных конструкций смесителей сыпучих материалов, что вызывает определенные трудности в выборе оптимального для достижения необходимого качества смеси при минимальных затратах энергии.

Вибрационные смесители сыпучих материалов по сравнению с механическим смешиванием имеют ряд преимуществ: пониженный расход электроэнергии, высокая технологическая эффективность (наджность), высокая производительность, сохранение целостности частиц смешиваемых ингредиентов.

Смешивание сыпучих материалов происходит практически в любом вибрационном смесителе, но для получения качественного смешивания необходимо создание смесителей более совершенных конструкций с целенаправленной вибрацией.

Недостаточно изучена энергия, затрачиваемая на вибрационное смешивание сыпучих материалов, и зависимость ее от параметров вибрации. Имеет смысл экспериментально изучить расход энергии, передаваемой от рабочих поверхностей смесителя к смешиваемым ингредиентам, для получения необходимой однородности готовой смеси.

Результаты экспериментального исследования. Процесс смешивания исследовали в вибрационном смесителе, состоящем из торообразной камеры, жестко закрепленной на платформе, которая соединена с рамой тремя плоскими пружинами. Торообразная камера снабжена штуцером для ввода смешиваемых ингредиентов и вывода готового продукта. Платформа с камерой приводилась в колебательное движение электродвигателем посредством кривошипно-шатунного механизма.

Отличительная особенность рассматриваемого смесителя – простота конструкции смесительной камеры, возможность ее смены на камеру другой вместимости или формы, а также создание пространственных винтовых колебаний камеры.

Процесс вибрационного смешивания побуждался ударными воздействиями плоскости дна смесителя на сыпучий материал. Более интенсивно процесс смешивания проходил в режиме непрерывного полета, условие которого определены уравнением [1]:

$$\frac{A\omega^2}{g} \cos \omega t_0 \sin \beta \geq \pi,$$

где A – амплитуда колебаний; ω – частота колебаний; t_0 – момент времени отрыва слоя от плоскости дна; β – угол направления колебаний.

Для определения энергии, необходимой для смешивания, воспользуемся второй теоремой Карно для не вполне упругого удара [2]:

$$E = \frac{1-e}{1+e} \sum_v \frac{m_v w_v^2}{2},$$

где e – коэффициент восстановления, который показывает, на сколько восстанавливается нормальная составляющая скорости материальной точки после удара; m_v – масса; w_v – начальная скорость.

Скорость частиц определяем из следующих соображений. В момент начала полета (отрыва от плоскости дна) слой сыпучего материала имеет скорость, равную скорости дна, определяемую уравнением колебательного движения плоскости дна [1]:

$$w = -A\omega \sin \omega t_0 .$$

Сделано допущение, что при падении слоя на поверхность дна, скорость его равна скорости начала полета.

Потерю энергии при ударе слоя о поверхность дна смесителя за один цикл (отрыв слоя – полет слоя – падение слоя на плоскость) представим в виде:

$$E = \left(\frac{1-e}{1+e} \right) \frac{m_v (-A\omega \sin \omega t_0)^2}{2} .$$

Коэффициент восстановления e определяли экспериментально. С высоты $h=0,2$ м поштучно подавали очищенное пшено, которое падало на стекло. Принято допущение, что стекло – абсолютно твердая поверхность и поэтому его упругие свойства не будут влиять на измерение коэффициента восстановления растительного материала – пшена. Процесс падения и отскока зерен пшена снимали видеокамерой. Затем расшифровывали видеокадры, по которым определяли высоту отскока. На рис.1 показан видеокадр процесса определения высоты отскока.



Рис.1. Видеокадр процесса определения коэффициента восстановления:
светлые черточки – зерна, движущиеся вниз; белые точки – максимальная высота отскока,
при которой скорость зерна равна нулю

Коэффициент восстановления определяли по формуле:

$$e = V_{\text{отр}} / V_{\text{пад}} , \quad (*)$$

где $V_{\text{отр}} = \sqrt{2gh_{\text{отр}}}$ – скорость конца удара; $V_{\text{пад}} = \sqrt{2gh}$ – скорость начала удара; $h_{\text{отр}}$ – высота отскока.

На рис.2 показана гистограмма распределения высоты отскока зерен пшена при падении с высоты $h=0,2$ м на абсолютно твердую поверхность.

Характеристики распределения высоты отскока следующие: среднее значение высоты отскока $h_{\text{ср}}=0,0399$ м, среднеквадратичное отклонение $\sigma=0,0243$ м.

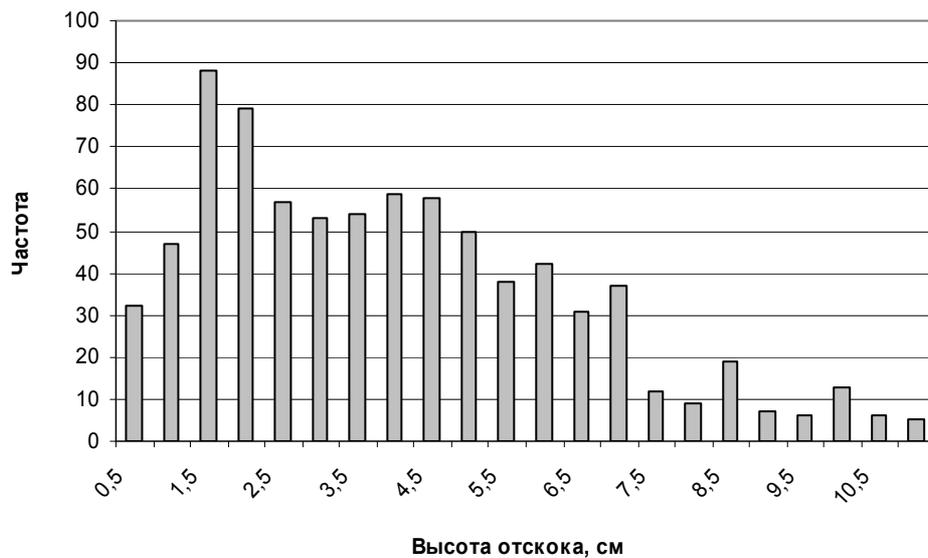


Рис.2. Гистограмма распределения высоты отскока

Для проверки гипотезы нормального распределения по критерию Колмогорова – Смирнова составлена таблица.

Проверка принадлежности нормальному распределению вариации коэффициента восстановления e по Колмогорову – Смирнову

Класс, м	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,10	0,105	0,11
Эмпирическое распределение	32	47	88	79	57	53	54	59	58	50	38	42	31	37	12	9	19	7	6	13	6	5
Теоретическое распределение	27	25	23	20	16	13	10	7	5	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d	5	22	65	59	41	40	44	52	53	47	36	41	30	37	12	9	19	7	6	13	6	5

Проверка гипотезы нормального распределения по критерию Колмогорова – Смирнова показала, что

$$\lambda = \frac{d_{\max}}{\sqrt{n}} = \frac{65}{\sqrt{802}} = 2,29 > 1,95,$$

где n – количество наблюдений; d_{\max} – максимальная разность между частотой эмпирического и теоретического распределения по классам.

Полученное значение λ превышает порог доверительной вероятности $\alpha=0,99$, и поэтому нулевая гипотеза отвергается, иначе – эмпирическое распределение высоты отскока нельзя отнести к нормальному закону распределения. Это может быть объяснено тем, что очищенные зерна пшеницы имеют форму не идеальной сферы, а эллипсоида, и высота отскока определена при допущении, что вектор скорости отражения был вертикальный, что действительно не для всех вариантов.

Используем функцию MS Excel НОРМСТОБР(z) для вычисления доверительного интервала для высоты отскока по следующему выражению:

$$h_{\text{отр}} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{НОРМСТОБР}(0,95),$$

где $z=0,95$ – двухсторонняя доверительная вероятность.

Согласно расчетам 95%-й доверительный интервал для $h_{\text{отр}}$ находится в диапазоне $h_{\text{отр}} = 0,0399 \pm 0,0015$ м.

В результате расчета по формуле (*) получено значение коэффициента восстановления

$$e = \frac{\sqrt{2gh_{\text{отр}}}}{\sqrt{2gh}} = \sqrt{\frac{h_{\text{отр}}}{h}} = \sqrt{\frac{0,0399}{0,2}} = 0,447.$$

С учетом доверительного интервала для высоты отскока определен коэффициент восстановления: $e = 0,447 \pm 0,08$.

Количество циклов смешивания за 1 с при угловой частоте колебаний ω :

$$c = \frac{\omega}{2\pi}.$$

Мощность на смешивание массы сыпучего продукта в смесителе непрерывного действия производительностью q имеет вид:

$$N = \left(\frac{1-e}{1+e} \right) \frac{\omega}{2\pi} \frac{q(A\omega \sin \omega t_{0\text{ср}})^2}{2}.$$

Максимальное значение мощности на вибрационное смешивание сыпучих материалов получено при значении $\sin(\omega t_0) = 1$. Поэтому для оценки необходимой мощности можно применить упрощенную формулу:

$$N = \left(\frac{1-e}{1+e} \right) \frac{A^2 \omega^3}{4\pi} q,$$

где $\omega = \frac{\pi n_{\text{об}}}{30}$ – круговая частота колебаний; $n_{\text{об}}$ – частота вращения побудителя колебаний.

Заключение. В результате исследования получена зависимость, связывающая мощность на смешивание с параметрами вибрации. Полная мощность на привод может быть получена с учетом затрат энергии на холостой ход и на перемещение материала внутри смесителя в зависимости от его конструкции.

Библиографический список

1. Гучева Н.В. Исследование вибрационного смешивания сыпучих зернистых материалов / Н.В. Гучева // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т.9. – С.151-163.
2. Березкин Е.Н. Лекции по теоретической механике. В 2 ч. Ч.II. / Е.Н. Березкин. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – С.276-280.

Материал поступил в редакцию 12.11.10.

References

1. Gucheva N.V. Issledovanie vibracionnogo smeshivaniya sypuchih zernistykh materialov / N.V. Gucheva // Vestn. Donsk. gos. tehn. un-ta. – 2009. – T.9. – S.151-163. – In Russian.
2. Berezkin E.N. Lekcii po teoreticheskoi mehanike. V 2 ch. Ch.II. / E.N. Berezkin. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1968. – S.276-280. – In Russian.

V.D. ILCHENKO, N.V. GUCHEVA

**EXPERIMENTAL RESULTS ON MIXING GRANULAR MATERIALS
IN VIBRATION MIXER**

The results of experiments on calculating energy for vibration mixing of bulk materials are presented. Dependence of the mixing energy on the vibration parameters and mechanical properties of the material is determined on the basis of Carnot theorem on inelastic impact.

Key words: *vibration mixer, bulk material, mixing energy.*

ИЛЬЧЕНКО Вильям Дмитриевич (р. 1938), доцент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (1968), доцент (1974). Окончил Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения (1960).

Область научных интересов: механизация сельскохозяйственных машин.

Автор 71 научной публикации. Имеет 1 авторское свидетельство.

ilchenco70@gmail.com

ГУЧЕВА Наталья Владимировна, ассистент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Донского государственного технического университета. Окончила Донской государственный технический университет (1998).

Область научных интересов: механизация сельскохозяйственных машин.

Автор 8 научных публикаций.

ngucheva@gmail.com

William D. ILCHENKO (1938), Associate Professor of the Food Production Machines and Mechanisms Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Engineering (1968), Associate Professor (1974). He graduated from Rostov-on-Don Institute of Agricultural Engineering (1960).

Research interests: agricultural machinery mechanization.

Author of 71 publications and 1 invention.

Natalia V. GUCHEVA, Teaching Assistant of the Food Production Machines and Mechanisms Department, Don State Technical University. She graduated from Don State Technical University (1998).

Research interests: agricultural machinery mechanization.

Author of 8 publications.