

Вероятность P_{α} в зависимости от угла расположения отверстия α

α , град.	0	2,5	5	10	20	30	50	70	90
P_{α}	0,468	0,59	0,614	-	-	-	-	-	-
	-	-	0,62	0,813	0,91	0,943	0,973	0,988	1,0

По результатам расчетов по уравнению (1) получена зависимость $P = f(\alpha)$, которая представлена на рисунке 3.

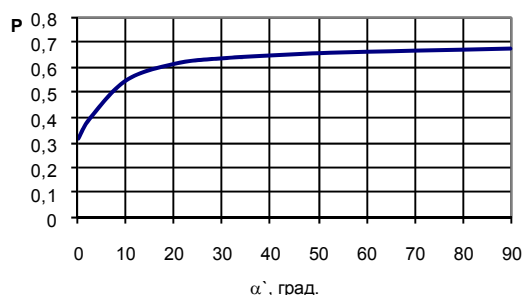


Рис. 3. Зависимость вероятности прохода частицы через отверстие решета от угла наклона отверстия

Вывод

Из рисунка 3 следует, что угол наклона отверстий решета к продольной оси способствует увеличению вероятности прохода частицы в отверстие решета. Наиболее вероятность возрастает при малых углах наклона отверстий. В диапазоне от 0 до 20° вероятность прохода частицы возрастает с 0,315 до 0,548, то есть в 1,7 раза.



Библиографический список

1. Евтягин В.Ф. Исследование параметров движения решетных станков с целью повышения эффективности работы: дис. ... канд. техн. наук / В.Ф. Евтягин. – Омск, 1982. – 175 с.
2. Климок А.И. Взаимодействие проходных частиц с продольными перемычками прямоугольных отверстий решета / А.И. Климок // Очистка и сортирование семян сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. / Сиб. ин-т. механизации и электрификации сел. хоз-ва. – Новосибирск, 1991. – С. 65.
3. Богданов В.Н. Справочное руководство по черчению / В.Н. Богданов, Н.Ф. Маложик, А.П. Верхола и др. – М., 1989. – 864 с.
4. Зильбернагель А.В. Интенсификация процесса сепарации зерна на плоских решетах с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Зильбернагель. – Омск, 2005. – 176 с.



УДК 534.111:63

**И.Я. Федоренко,
Д.Н. Пирожков,
Р.А. Котов**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ЛОРЕНЦА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ КОРМОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: вибрационный смеситель, процесс смешивания, сыпучий

материал, однородность смеси, модель Лоренца, амплитуда и частота колебаний.

Введение

В рабочих емкостях вибрационных машин, осуществляющих обработку сухих сыпучих материалов, экспериментальные исследования выявляют три типа движения обрабатываемого материала: вибрация частиц с уплотнением, регулярные циркуляции, стохастическое движение частиц [1-3]. Для разных видов технологических операций, выполняемых вибрационными машинами, необходимо использовать тот или иной тип движения материала. В частности для смешивания наилучшим образом подходят циркуляционные движения с высокой скоростью циркуляции материала, либо стохастическое движение частиц, при котором не происходит их сегрегация ни по фракционному составу, ни по плотности. Модель Лоренца, описывающая поведение сыпучего материала под действием вибрации, способна предсказать, какой тип движения будет осуществляться в рабочей зоне вибрационной машины в зависимости от параметров вибрации, физико-механических характеристик обрабатываемого материала, размеров вибрационных рабочих органов и толщины слоя материала [4, 5].

Теоретические и экспериментальные исследования

Модель Лоренца представляет собой систему из трех нелинейных уравнений:

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

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

σ, r, b – параметры модели Лоренца.

Параметры модели Лоренца функционально связаны с интенсивностью вибрации, с конструкцией и характеристиками конкретной вибрационной машины, с физико-механическими свойствами обрабатываемого материала:

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

где a, ω – амплитуда и частота колебаний;

h, D – высота и поперечный размер слоя обрабатываемого материала;

ν – эффективная кинематическая вязкость виброоживленного сыпучего материала.

Тип движения обрабатываемого материала определяется видом кривой, модели Лоренца которую рисует отображающая точка в фазовом пространстве переменных x, y, z . Так, неподвижная отображающая точка соответствует вибрации частиц с уплотнением материала, предельный цикл – циркуляционным движениям, странный аттрактор – стохастическому движению частиц.

При помощи модели Лоренца также можно определить энергетические показатели процесса смешивания. Переменная x , входящая в уравнения системы (1), характеризует скорость циркуляции обрабатываемого материала. Зная значение x для конкретного режима обработки материала, можно определить такой энергетический показатель процесса смешивания, как аналог кинетической энергии, которой обладает обрабатываемый материал:

$$E_{кин}^a = \frac{mx^2}{2}, \quad (3)$$

где m – масса движущегося материала.

В работе [6] на основе интегральных уравнений типа свертки предложена теория, позволяющая связать энергетические показатели процесса смешивания с однородностью кормосмеси. В указанной работе предложено следующее выражение для оценки однородности смеси:

$$\theta = \frac{N}{W} \left[T + (t-T) \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right], \quad (4)$$

где N – мощность, поглощаемая материалом в процессе его смешивания, Вт;

W – модуль смешивания, показывающий какая работа совершается при увеличении однородности 1 кг кормосмеси на 1%, Дж/(кг %);

T – характерное время релаксации, в течение которого релаксирующая часть однородности кормосмеси уменьшается в $e = 2,71$ раза, мин.;

t – время смешивания, мин.

На основе уравнения (4) возможно определение следующих важнейших показателей процесса смешивания [6]:

1. Определение оптимального времени смешивания:

$$t^* = 2T. \quad (5)$$

2. Определение максимальной однородности смеси:

$$\theta_{\max} = 1,135 \frac{Nt^*}{W} \quad (6)$$

3. Определение однородности смеси при неограниченном увеличении времени смешивания:

$$\theta_k = \frac{NT}{W} \quad (7)$$

Суть нашей работы состоит в том, чтобы попытаться на основе выражений (1), (3), (4) получить для реального смесителя показатели процесса смешивания, представленные в выражениях (5)-(7), то есть на основе модели Лоренца определить качественные показатели процесса смешивания.

В качестве испытуемой машины был взят опытный образец вибрационного смесителя сыпучих кормов, разработанный на кафедре механизации животноводства АГАУ (рис. 1).

Вибрационный смеситель представляет собой цилиндрическую камеру смешивания 1, снизу которой установлено гибкое виброднище 2 (рис. 1). Гибкое виброднище 2 соединено шатуном с эксцентриковым виброприводом 4, который приводится электродвигателем 5. В процессе работы виброднище 2 совершает прямолинейные вертикальные колебания. Электродвигатель 5 включается в работу при помощи пульта управления 7. Вся конструкция установлена на основании 8 при помощи стоек 3. Исходные компоненты загружаются в камеру смешивания 1 сверху, а выгружаются через имеющийся в нижней части камеры смешивания 1 патрубок 6.

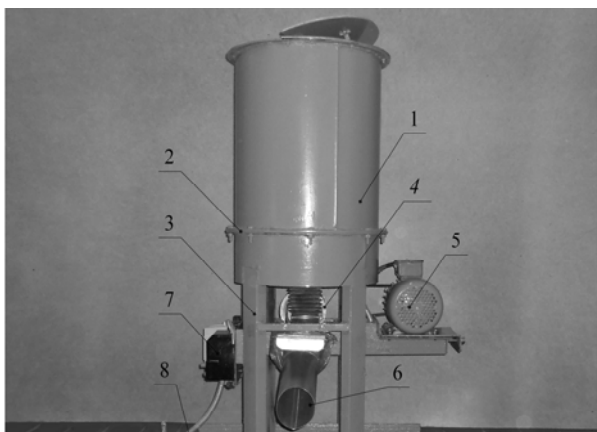


Рис. 1. Общий вид вибрационного смесителя:
1 – камера смешивания;
2 – гибкое виброднище; 3 – стойка;
4 – вибровозбудитель; 5 – электродвигатель;
6 – выгрузной патрубок;
7 – пульт управления; 8 – основание

Смеситель имеет возможность совершать колебания амплитудой a , равной 5, 7 и 9 мм путем смены эксцентриков в вибровозбудителе 4. Частота колебаний ω изменялась при помощи преобразователя частоты в пределах от 150 до 180 рад/с.

Анализ конструкции смесителя позволяет утверждать, что обрабатываемый в нем материал будет представлять собой слой сплошной среды, поперечный размер которого будет равен диаметру камеры смешивания, а высота – расстоянию от виброднища до верхней свободной поверхности слоя.

Смешивание целесообразно производить при полной загрузке смесительной камеры, поэтому исходя из размеров смесителя поперечный размер слоя D составил 420 мм, а высота слоя материала $h = 350$ мм.

Расчеты по модели Лоренца, которые проводились при помощи математического пакета MATLAB для пшеничной дерти, показали, что при частоте колебаний $\omega = 150$ рад/с, поперечном размере слоя $D = 420$ мм, высоте слоя $h = 350$ мм и любом значении амплитуды колебаний $a = 5, 7$ или 9 мм, отображающая точка рисовала предельный цикл (рис. 2). Это означает, что будет наблюдаться циркуляционный режим движения материала, который вполне подходит для осуществления процесса смешивания.

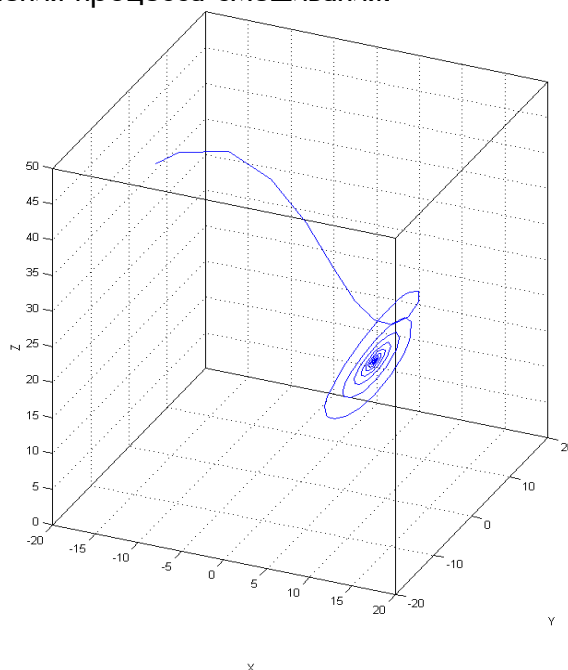


Рис. 2. Фазовая траектория при решении модели Лоренца для смесителя

Для выбора наиболее подходящего значения амплитуды колебаний, при которой будет наблюдаться наибольшая однородность смеси, был применен диссоциативно-шаговый метод, который показал, что процесс смешивания происходит наиболее интенсивно при $\omega = 150$ рад/с, $a = 7$ мм, $h = 250$ мм.

При проведении эксперимента, кроме однородности смеси, регистрировались и значения потребной мощности электродвигателя, при которой протекал процесс смешивания в каждом опыте. Сопоставив кривые мощности электродвигателя, полученные в ходе эксперимента, и аналога кинетической энергии, просчитанного при помощи модели Лоренца, была обнаружена большая схожесть между ними (рис. 3).

Обнаруженное сходство дает возможность использовать модель Лоренца для определения однородности смеси путем подстановки аналога кинетической энергии $E_{кин}^a$ в выражение (4) вместо значения мощности N . Тогда выражение для определения неоднородности смеси примет вид:

$$\theta = \frac{E_{кин}^a}{W} \left[T + (t - T) \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right]. \quad (8)$$

В случае использования выражения (8) для определения однородности смеси модуль смешивания W будет иметь размерность 1/(кг·мин. %).

Для определения значений W и T в вибрационном смесителе (рис. 1) смешивали комбикорм с семенами ячменя, которые служили контрольным компонентом. При проведении эксперимента интенсивность вибрации и наполнение смесителя были неизменными ($\omega = 180$ рад/с, $a = 9$ мм, $h = 350$ мм), изменялось только время смешивания, при котором снимались значения однородности смеси. Получив экспериментальные значения однородности смеси, их аппроксимировали кривой вида (8), получив при этом следующую зависимость:

$$\theta = 31,9 \left[2,63 + (t - 2,63) \exp\left(-\frac{t}{2,63}\right) \right]. \quad (9)$$

Коэффициент корреляции r между зависимостью (9) и экспериментальными точками составляет 0,82 (рис. 4).

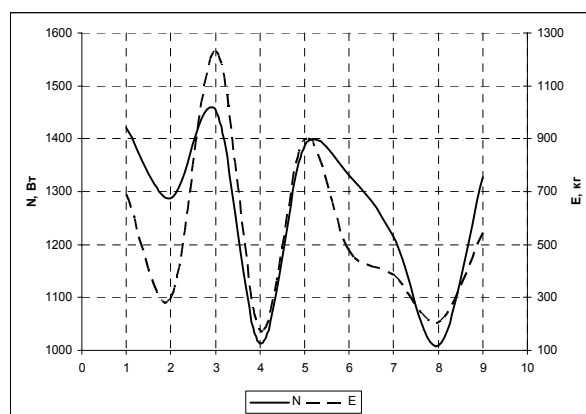


Рис. 3. Графики мощности электродвигателя и аналога кинетической энергии

Согласно модели Лоренца, значение аналога кинетической энергии при проведении эксперимента $E_{кин}^a = 688,3$ кг. Тогда модуль смешивания составит $W = 688,3 \div 31,9 = 21,6$ 1/(кг·мин. %).

Таким образом, нам известны значения W и T для данного смесителя и кормовой смеси. Используя их в выражениях (5)-(7), подставляя, где это необходимо, вместо значения N значение $E_{кин}^a$ мы можем получить:

- оптимальное время смешивания: $t^* = 2T = 2 \cdot 2,63 = 5,26$ мин.;

- максимальную однородность смеси:

$$\theta_{max} = 1,135 \frac{E_{кин}^a t^*}{W} = 1,135 \frac{688,3 \cdot 2,63}{21,6} = 95,1 \%$$

- однородность смеси при неограниченном времени смешивания, то есть при

$$t \rightarrow \infty \quad \theta_k = \frac{E_{кин}^a T}{W} = \frac{688,3 \cdot 2,63}{21,6} = 83,8 \%$$

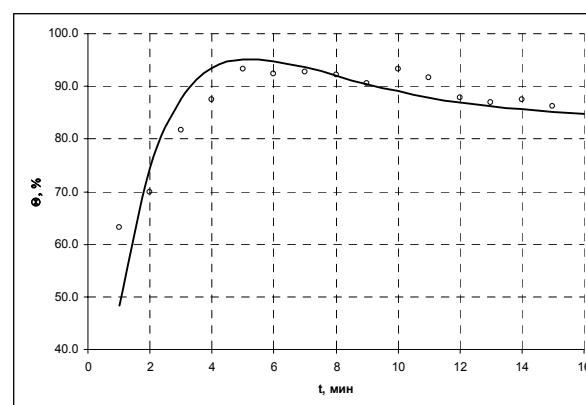


Рис. 4. Кривая смешивания для вибрационного смесителя

Выводы

1. При помощи модели Лоренца возможно определение типа движения и кинематических и энергетических характеристик смешиваемого в вибрационном смесителе сыпучего материала.

2. Совмещение модели Лоренца и уравнений типа свертки позволяет оценивать качественные показатели процесса смешивания, что можно использовать при разработке новых и анализе эффективности работы существующих вибрационных смесителей сыпучих материалов.

Библиографический список

1. Блехман И.И. Вибрационная механика / И.И. Блехман. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
 2. Гончаревич И.Ф. Вибрация – нестандартный путь / И.Ф. Гончаревич. – М.: Наука, 1986. – 209 с.

3. Федоренко И.Я. Механико-технологическое обоснование и разработка вибрационных кормоприготовительных машин: дис. ... д.т.н. / И.Я. Федоренко. – Челябинск. 1992. – 392 с.

4. Федоренко И.Я. Анализ поведения сыпучей среды при вибрации на основе теории аттрактора Лоренца / И.Я. Федоренко // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия техн. наук. – 1990. – Вып. 3. – С. 112-115.

5. Федоренко И.Я. Вибрируемый зернистый слой в сельскохозяйственной технологии / И.Я. Федоренко, Д.Н. Пирожков. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 166 с.

6. Федоренко И.Я. Использование интегральных уравнений типа свертки для описания процесса смешивания кормов / И.Я. Федоренко, В.Д. Ковальчук // Механизация технологических процессов в животноводстве: сб. науч. тр. / АСХИ. – Барнаул, 1989. – С. 20-31.



УДК 631.347

М.П. Марьин

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛИВА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ «ФРЕГАТ» РЕВЕРСИВНОГО ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Ключевые слова: дождевальная машина, задатчик скорости, исполнительное устройство, поливная норма, режим орошения.

Введение

В настоящее время в орошаемом земледелии появилась необходимость применения дождевальной машины «Фрегат» реверсивного передвижения [1].

Осуществляя полив дождевальной машиной «Фрегат» реверсивного передвижения на орошаемом поле, происходит неравномерное распределение поливной влаги по направлению движения машины. Это связано с тем, что за время полива при подходе дождевальной машины к позиции, в дальней части поля наблюдается меньший запас влаги по сравнению с ближней частью. Этот запас уменьшается по причине водопотребления за время движения дождевальной машины по орошаемому полю. Поэтому, осуществляя

обратный полив с постоянной поливной нормой, в разных частях орошаемого поля будут наблюдаться различные значения запаса влаги в почве [2].

Объекты и методы

Для предотвращения неравномерного полива по направлению движения дождевальной машины «Фрегат» реверсивного передвижения предложено выражение для вычисления поливной нормы в зависимости от расположения машины на поле [3]:

$$m_i = \begin{cases} \frac{QE_q (T_m + 0,5T_{i-1})}{Q - 0,5F_n E_q}, & \text{при } i = (k-1)n + 1; \\ \frac{QT_{i-1}}{F_n} + \frac{QE_q (T_{i-1} + 0,5(T_{2(k-1)n+2-i} + T_{2(k-1)n+1-i}))}{Q - 0,5F_n E_q}, & \text{при } i \neq (k-1)n + 1, \end{cases} \quad (1)$$

где F_n – площадь полива дождевальной машиной на каждом угле поворота, га;