



УДК 539.3: 664

А.А. Гнездилов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ НА ЯЙЦО В ВИБРОКИПАЮЩЕМ СЛОЕ АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА

При исследовании процесса сухой очистки поверхности скорлупы товарных яиц от загрязнений в виброкипящем слое сыпучего материала перед нами возникли два вопроса. Во-первых, каково силовое воздействие абразивных частиц на поверхность скорлупы яйца? Во-вторых, в какой области виброкипящей среды силовое воздействие на яйцо будет иметь наибольшее значение?

Прежде чем приступить к экспериментальным исследованиям, попытаемся ответить на некоторые аспекты поставленных вопросов с точки зрения положений вибрационной механики.

Рассмотрим поведение сыпучей среды, находящейся в вертикальной цилиндрической емкости с днищем, которое совершает гармонические колебания в направлении ее образующих.

При ускорениях колебаний, превышающих ускорение свободного падения, сыпучий материал временами начинает терять контакт с виброднищем, уменьшаются и периодически нарушаются связи между частицами: обрабатываемый слой переходит в виброкипящее состояние, характеризующееся разрыхлением среды и усиленной циркуляцией составляющих ее частиц [1]. При этом движение частиц начинается в центральной части емкости от виброднища. Затем они поднимаются на поверхность виброкипящего слоя, перемещаются к периферии емкости, погружаются в толщу слоя и, наконец, достигнув в центральной части виброднища, вновь включаются в кругооборот.

Оказывается, виброднище в центральной части емкости генерирует осциллирующий воздушный поток, который и увлекает за собой частицы к поверхности виброкипящего слоя [2]. Действительно, частица, вынесенная вверх по центру емкости подъемной силой и оттесненная затем к периферии, попадает в зону малой интенсивности воздушного потока и опускается вниз. Интенсивность аэродинамического напора снижается по мере приближения к периферии емкости. Это обусловлено затуханием звуковой волны вследствие вязкости и теплопроводности воздуха, трения о стенку ем-

кости. Однако более существенное влияние оказывает рассеяние волны на частицах в виброкипящем слое.

Не следует забывать и о силовом импульсе, также генерируемом виброднищем [3, 4]. На величину силового импульса существенное значение оказывают коэффициент перегрузки [5], реологические свойства абразивного сыпучего материала, подвергаемого вибрационному воздействию, и высота его слоя.

Чтобы выяснить, каково совместное воздействие аэродинамического напора и силового импульса на яйцо, погруженное в виброкипящий слой абразивного сыпучего материала, обратимся к экспериментальным исследованиям в этой области.

Экспериментальная установка по определению силового воздействия на яйцо состоит из технического средства для сухой очистки яиц (рис. 1) и приспособления, с помощью которого производится непосредственное измерение усилия на яйцо (рис. 2).

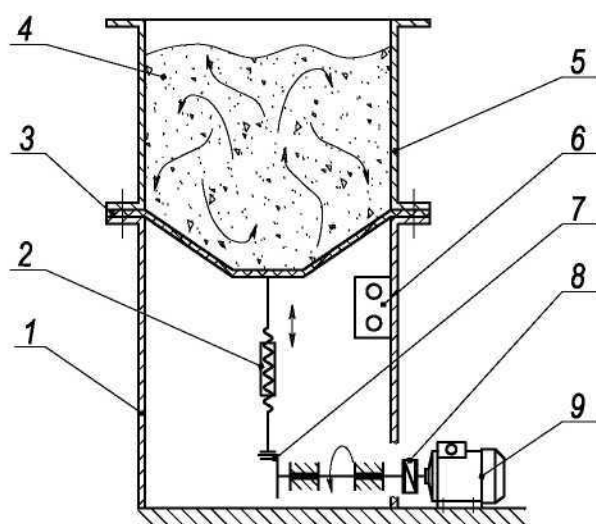


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для сухой очистки яиц:

- 1 — рама; 2 — винтовой механизм; 3 — гибкое днище; 4 — абразивный материал; 5 — емкость; 6 — пульт управления; 7 — вибровозбудитель; 8 — упругая муфта; 9 — электродвигатель

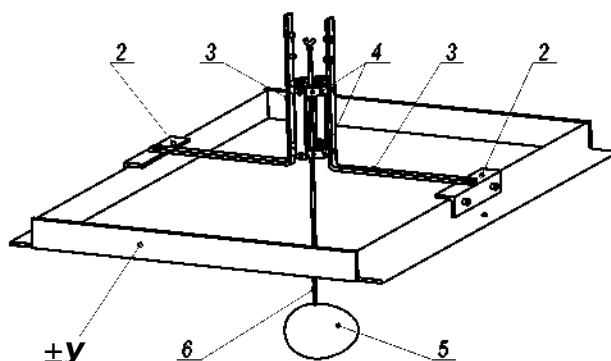


Рис. 2. Приспособление для измерения силового воздействия на яйцо:
1 – рамка; 2 – подвижная опора;
3 – кронштейн; 4 – направляющие кольца; 5 – макет яйца; 6 – штанга

Определение силового воздействия на яйцо осуществляется следующим образом.

Приспособление для определения силового воздействия на яйцо (рис. 2) устанавливаем сверху на емкость 5 (рис. 1). Между кронштейнами 3 (рис. 2) над направляющими кольцами 4 закрепляем динамометр (на рисунке не показан). Шкала динамометра предварительно тарировалась на необходимый диапазон усилий. При помощи винтового механизма 2 (рис. 1) гибкое днище 3 переводим в нейтральное положение. На эксцентриковом вибровозбудителе 7 с жестким шатуном, изменяя эксцентриситет, выставляем требуемое значение амплитуды колебаний. Затем в емкость 5 насыпаем сыпучий абразивный материал 4. Используя пульт управления 6, производим запуск электродвигателя 9, который через упругую муфту 8 плавно сообщает крутящий момент на вал вибровозбудителя 7. Винтовой механизм 2, выступая в роли шатуна, преобразует вращательное движение кривошипа вибровозбудителя 7 в возвратно-поступательное движение гибкого днища 3, которое, в свою очередь, переводит слой абразивного сыпучего материала в виброкипящее состояние. С помощью подвижных опор 2 (рис. 2), жестко связанных посредством кронштейнов 3 с направляющими кольцами 4, горизонтально перемещаем макет яйца 5 в исследуемую зону по диаметру емкости 5 (рис. 1) и фиксируем винтами это положение. В каждом направляющем кольце 4 (рис. 2) предусмотрено по три подшипника качения, обеспечивающих точечный контакт со штангой 6 и, следовательно, минимальное трение на ее движении. Штангой 6, соединенной с одного конца с динамометром, а с другого — с макетом яйца 5, изменяем положение последнего по высоте виброкипящего слоя. При достижении макетом яйца 5 требуемой высоты временно останавливаем штангу 6. Устанавливаем показания динамометра на нулевую

отметку. После этого снимаем фиксацию штанги 6 и с помощью динамометра регистрируем усилие от аэродинамического напора и силового импульса, генерируемых вибрационным воздействием на слой сыпучего материала. Если наблюдается выталкивание макета яйца 5 на поверхность виброкипящего слоя, то значение усилия считаем положительным, а в случае погружения – отрицательным.

Вес макета яйца 5 и штанги 6 соответствует среднему весу куриного яйца и составляет 0,5Н. Таким образом, в экспериментальных исследованиях все значения усилий получены с учетом данного обстоятельства.

В качестве абразивной рабочей среды использовался недорогой и повсеместно распространенный материал, обеспечивающий стабильность и эффективность процесса сухой очистки яиц, а также требуемое качество обработки поверхности скорлупы. Приведенным требованиям отвечает стеклянная крошка с размером частиц 3–4 мм.

С целью уменьшения количества опытов было решено провести планирование эксперимента. Эксперимент проводился по D-оптимальному симметричному некомпозиционному плану Бокса-Бенкена второго порядка на трех уровнях варьирования с числом опытов 27. Чтобы уменьшить вероятность случайных ошибок, опыты проводили с трехкратной повторностью. В качестве факторов были приняты: X_1 – коэффициент

перегрузки $\frac{a\omega^2}{g}$ (a – амплитуда, м; ω – частота, c^{-1} ; g – ускорение свободного падения, $\frac{m}{c^2}$), X_2 – масштабный фактор $\frac{h}{D}$ (h – высота слоя, м; D – диаметр емкости, м), X_3 – положение яиц по высоте слоя h , (мм), X_4 – положение яиц по длине радиуса емкости l (мм). Уровни варьирования факторов приведены в таблице.

В результате обработки экспериментальных данных с помощью прикладной программы для ПЭВМ STATISTICA v 6.0 было получено следующее уравнение регрессии для определения силового воздействия на яйцо в виброкипящем слое стеклянной крошки со средним размером частиц 34 мм в кодированном виде:

$$Y = 325,56 + 114,72X_1 + 60,28X_2 - 184,44X_3 + 172,78X_4 + 35,83X_1^2 - 8,33X_1X_2 - 25,83X_1X_3 + 53,33X_1X_4 - 30,0X_2^2 - 75,0X_2X_3 + 57,5X_2X_4 + 7,92X_3^2 - 139,17X_3X_4 - 101,25X_4^2.$$

Проверка модели на адекватность по критерию Фишера показала, что $F_{расч} \leq F_{табл}$ т.е. представленная модель адекватно описывает полученные данные по определению усилия на яйцо при доверительной вероятности 0,95.

Уровни и интервалы варьирования факторов

№ п/п	Наименование фактора	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
				-1	0	+1
1	Коэффициент перегрузки $a\omega^2/g$	X ₁	16	1	17	33
2	Масштабный фактор h/D	X ₂	0,12	0,37	0,49	0,61
3	Положение яиц по высоте слоя, %	X ₃	10	60	50	40
4	Положение яиц по длине радиуса емкости l, мм	X _л	65	130	65	0

На рисунках 3 и 4 показаны графики зависимости силы, действующей на яйцо в виброкипящем слое стеклянной крошки от масштабного фактора, положения яйца по высоте слоя и положения яйца по радиусу емкости.

Проанализировав графики, можно сделать следующие выводы:

1. При движении от центральной части емкости к ее периферии наблюдается уменьшение величины усилия на яйцо до нуля. В ряде случаев яйцо не выталкивается на поверхность виброкипящего слоя, а наоборот, погружается в него, при этом сила принимает отрицательное значение. Объясняется это удаленностью яйца от центральной части емкости, где возникают максимальные значения воздушного напора и силового импульса, которые у периферии емкости слабо выражены.

2. Исследования силового воздействия на яйцо по высоте слоя указывают на снижение значения выталкивающей силы при прохождении виброкипящей среды от области у основания виброднища до поверхностной зоны слоя. Это связано, прежде всего, с затуханием аэродинамического напора и силового импульса в толще виброкипящего слоя.

3. С увеличением высоты виброкипящего слоя увеличивается и величина усилия на яйцо, что обуславливается давлением материала и, следовательно, генерированием виброднищем осциллирующего воздушного потока большей интенсивности.

4. В целом же, по экспериментальным исследованиям, можно сделать заключение,

что максимальное усилие отмечается в центральной части емкости в непосредственной близости от виброднища, а минимальное — в верхних слоях виброкипящей среды у периферии емкости.

5. Проведенные экспериментальные исследования могут быть полезны при проектировании вибрационных машин и устройств для сухой очистки поверхности скорлупы товарных яиц от загрязнений, а также для других технических средств, в которых применяется виброкипящий слой сыпучего материала.

Библиографический список

1. Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологии / И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов. М.: Наука, 1981. 320 с.
2. Федоренко И.Я. Движение частицы в осциллирующем воздушном потоке / И.Я. Федоренко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1996. № 3-4. С. 111-115.
3. Членов В.А. Виброкипящий слой / В.А. Членов, Н.В. Михайлов. М.: Наука, 1972. 343 с.
4. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И.Н. Карташов и др. Издательское объединение «Вища школа», 1975. 188 с.
5. Федоренко И.Я. Вибрационная техника сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий: учебное пособие / И.Я. Федоренко, П.И. Леонтьев, В.И. Лобанов / АГАУ. Барнаул, 1995. Ч. 1. 98 с.

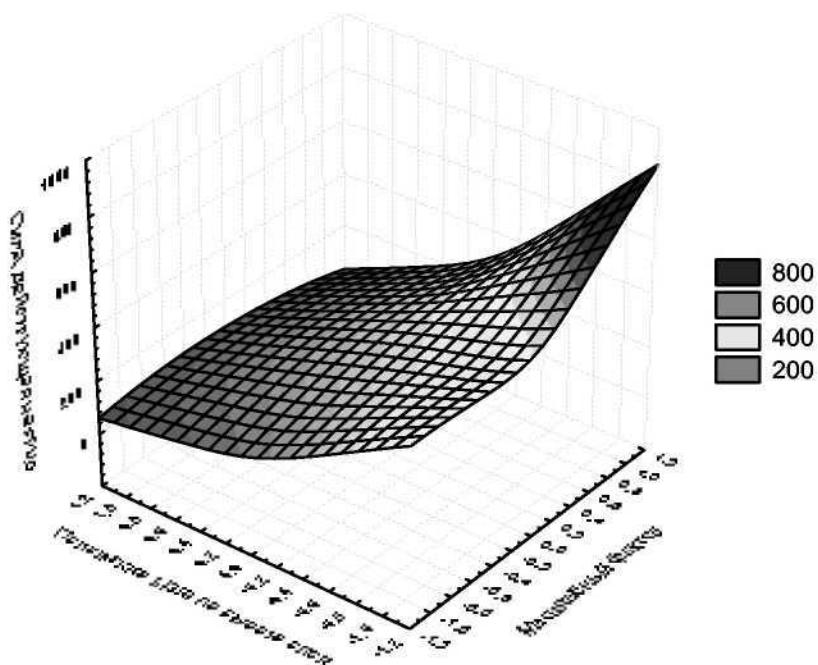


Рис. 3. График зависимости силы, действующей на яйцо, от масштабного фактора и положения яйца по высоте слоя

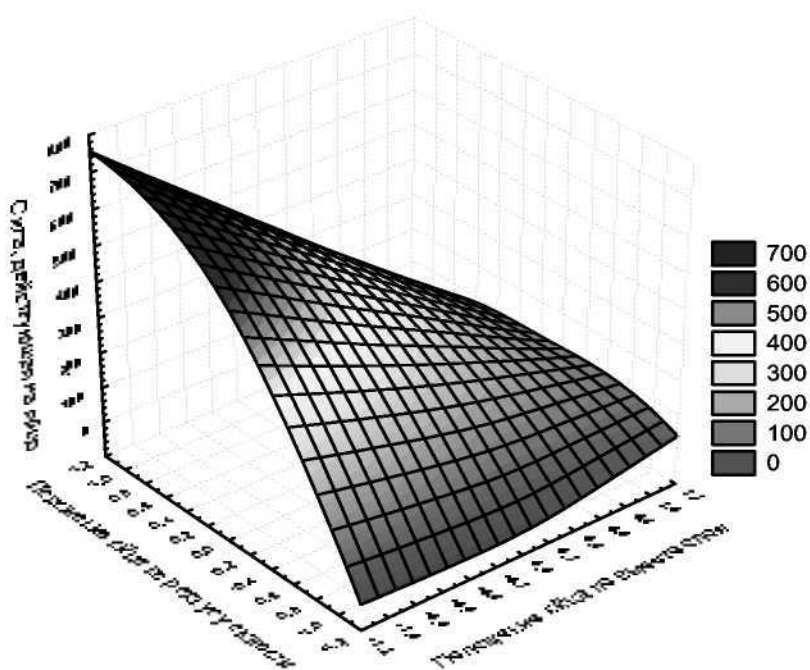


Рис. 4. График зависимости силы, действующей на яйцо, от положения яйца по радиусу емкости и положения яйца по высоте слоя

