

УДК 621.9.048.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ОТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ

В статье рассмотрено движение элементов рабочей среды в вибрационных станках, приведены расчетные значения циркуляционной скорости в зависимости от расположения вибровозбудителя и стабильности циркуляционного движения

А. П. Николаенко
Аспирантка
Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»*
Контактный тел.: 63-86-54

М. А. Калмыков
Кандидат технических наук, преподаватель
Кафедра «Компьютерные сети и системы»*
*Восточноевропейский национальный университет им. В. Даля

Учитывая работу, проведенную по определению характеристик рабочей среды и параметров движения контейнера [предыдущие две статьи], для расчета циркуляционной скорости предпочтительно использовать математическую модель, опирающуюся на эти данные.

Среди достаточно широкого спектра таких работ, наиболее подходящей является модель, представленная в работе [1], т.к. она наиболее детально учитывает особенности процесса вибрационной обработки, и при расчете перемещения элемента рабочей среды опирается на дифференциальные уравнения движения контейнера вибрационного станка. Однако автор [1] при расчете траектории использовал традиционный подход, рассматривая контейнера и загрузку как одномассную колебательную систему.

Результаты работы [1] могут быть уточнены путем использования в качестве связующего элемента результаты решений уравнения (1).

$$\begin{cases} (M + m_d)\ddot{x} + (2C_x + C_r)x - 2C_x L_y \varphi - C_r x_r + B_r \dot{x} - B_r \dot{x}_r = \omega^2 r \cos(\omega t) m_d, \\ (M + m_d)\ddot{y} + (2C_y + C_r)y - C_r y_r + B_r \dot{y} - B_r \dot{y}_r = \omega^2 r \sin(\omega t) m_d \\ J\ddot{\varphi} + (2C_x L_y^2 + 2C_y L_x^2)\varphi - 2C_x L_y x = L_{kx}(\omega^2 r \sin(\omega t) m_d) - \\ - L_{ky}(\omega^2 r \cos(\omega t) m_d), \\ m_r \ddot{x}_r + C_r x_r - C_r x + B_r \dot{x}_r - B_r \dot{x} = 0, \\ m_r \ddot{y}_r + C_r y_r - C_r y + B_r \dot{y}_r - B_r \dot{y} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

Движение элемента рабочей среды, находящегося у поверхности стенки контейнера согласно [1], описывается пятью уравнениями, три из которых описывают соответствующие режимы движения (скольжение рабочей среды, полет и совместное движение) и два уравнения, которые определяют этапы перехода между этими типами движений.

Этап совместного движения.

На этапе совместного движения рабочая среда движется совместно с контейнером, приобретая начальную скорость перед переходом к одному из следующих этапов – проскальзывания или полета. На этом этапе уравнения движения рабочей среды совпадают с уравнениями движения контейнера.

Этап проскальзывания:

На данном этапе уравнение движения элемента рабочей среды по оси, перпендикулярной движению рассматриваемого участка стенки контейнера, совпадает с движением контейнера в этом направлении:

$$F_y(t) = (y_p(t) - y_0) \cos \alpha - (x_p(t) - x_0) \sin \alpha;$$

здесь α – угол наклона соответствующего фрагмента стенки.

По оси, расположенной параллельно рассматриваемой стенке, движение происходит по следующему уравнению:

$$m_s \ddot{x}'_{gl} = -mg \sin(\alpha) + \text{sign}(F\dot{x}(t))N(t)k - (x' - \psi)B - \dot{x}'\mu;$$

где m_s – масса элемента рабочей среды;

g – ускорение свободного падения;

x'_{gl} – перемещение на этапе сдвига, по оси, параллельной рассматриваемому фрагменту стенки контейнера;

$Fx(t)$ определяется как:

$$Fx(t) = (y_p(t) - y_0) \sin \alpha + (x_p(t) - x_0) \cos \alpha;$$

k – коэффициент сухого трения между стенками контейнера и прилежащем к ним слоем рабочей среды;

$N(t)$ – функция изменения силы реакции опоры (перпендикулярной рассматриваемому отрезку стенки), определяемая как:

$$N(t) = gm_s \cos \alpha - m_s F\ddot{y}(t) + C_r Fy(t) + B_r F\dot{y}(t);$$

На этапе полета уравнения движения рассматриваемого элемента рабочей среды будут следующими:

$$m \ddot{y}'_{fr}(t) = -gm \cos \alpha - C_r y'_{fr}(t) - B_r \dot{y}'_{fr}(t);$$

где y'_{fr} – перемещение на этапе полета, по оси, перпендикулярной рассматриваемому фрагменту стенки контейнера;

$$m \ddot{x}'_{gl} = -mg \sin(\alpha) - \dot{x}'_{fr} B_r - \dot{x}'\mu;$$

Уравнения переходов между этапами выглядят следующим образом:

$N \leq 0$ – этап полета, $N > 0$ – совместное движение, которое, в свою очередь, состоит из двух этапов, условие перехода между которыми определяется следующим образом:

при $kN(t) \leq |m_s Fx(t)|$ – этап скольжения, иначе этап совместного движения;

Анализ работ сделанных в этом направлении [1], показал, что данный подход является распространенным в области вибротранспортирования сыпучих сред.

Как видно из представленных уравнений, предложенная в предыдущих параграфах математическая модель предоставляет всю необходимую информацию для определения скорости перемещения элементов рабочей среды вдоль стенок контейнера и, следовательно, определения циркуляционной скорости.

В работе [1] предложен алгоритм решения данных уравнений методом припасовывания.

Непосредственно циркуляционная скорость в работе не определялась, однако, зная $x'(t)$, среднюю циркуляционную скорость можно определить следующим образом:

$$v = \frac{1}{l_s} \int \left(x'(t + \frac{1}{f}) - x'(t) \right);$$

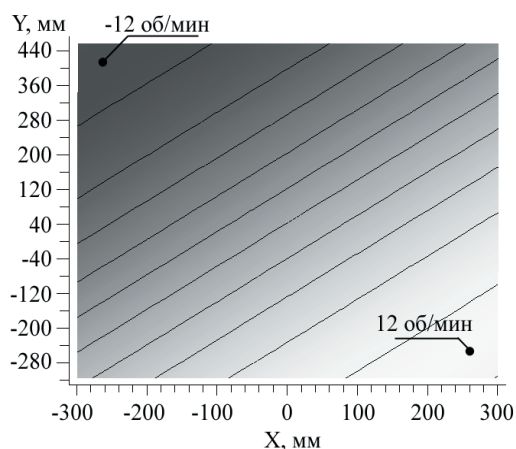
v – среднее расстояние, которое будет пройдено элементом рабочей среды за период.

Второй мерой, характеризующей стабильность циркуляционного движения, предлагается считать среднеквадратичное отклонение:

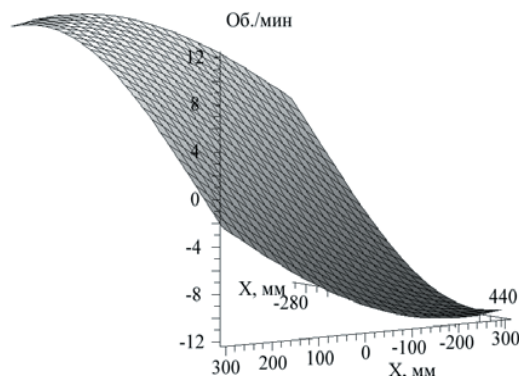
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{l_s} \int \left(\left(x'(t + \frac{1}{f}) - x'(t) \right) - v \right)^2};$$

Дело в том, что в рабочих средах с мелкой грануляцией различная скорость перемещения детали у различных стенок приводит к нарушению кругового перемещения и разбиению потока рабочей среды на несколько циркулирующих или хаотично перемещающихся потоков. Этого следует избегать, поскольку в этом случае обработка может происходить не так равномерно, деталь может быть затянута в центр контейнера, где обработка менее эффективна. Поэтому исследование равномерности перемещения деталей у различных стенок является необходимой задачей.

Ниже приведены расчетные значения циркуляционной скорости в зависимости от расположения вибровозбудителя (рис. 1) и стабильности циркуляционного движения (рис. 2) определяемого среднеквадратичным отклонением значения перемещения элемента рабочей среды относительно стенки контейнера.

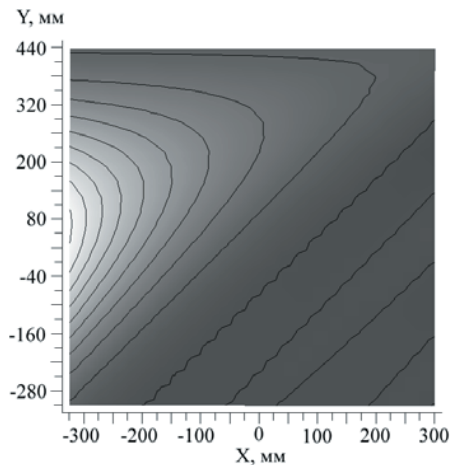


а)

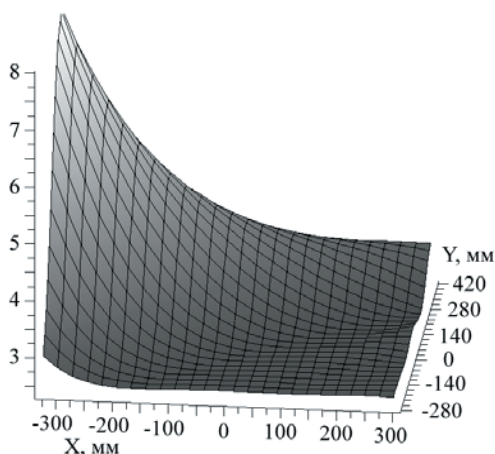


б)

Рисунок 1. Расчетные значения циркуляционной скорости в зависимости от расположения вибровозбудителя



а)



б)

Рисунок 2. Результаты расчетов стабильности циркуляционного движения определяемой средноквадратичным отклонением значения перемещения элемента рабочей среды относительно стенки контейнера, в зависимости от положения вибровозбудителя

Из данных, приведенных на графике зависимости циркуляционной скорости (рис. 1) следует, что с удалением вибровозбудителя в правый нижний угол циркуляционная скорость значительно увеличивается.

При расположении вибровозбудителя в центре контейнера циркуляционная скорость будет отсут-

ствовать. Т.е. несмотря на то, что на определенном промежутке рабочая среда будет перемещаться относительно стенок контейнера, среднее значение перемещения будет близко к 0. При расположении вибрационного возбудителя в левом верхнем углу, график отображает отрицательную циркуляционную скорость, т.е. рабочая среда должна вращаться в другую сторону. Однако, необходимо обратить внимание на рис 2: смещение вибровозбудителя вверх и влево увеличивает средноквадратичное отклонение. Т.е. на определенных участках начинают возникать резкие отклонения в скорости и направлении перемещения рабочей среды, что как уже упоминалось, может нарушить перемешивание или ликвидировать его.

Учитывая проведенные исследования, а также влияние расположения вибровозбудителя на полезную мощность, наиболее рациональным является расположение вибровозбудителя в правом нижнем углу, непосредственно под стенкой контейнера. Это, во-первых, увеличит полезную мощность, избавив от необходимости прибегать к одному из методов, описанных в предыдущем параграфе. И, во-вторых создаст условия возникновения стабильного (рис. 1, 2) циркуляционного движения. Наиболее рациональным в этой связи является расположение контейнера по координатам (-130, 130).

1. Опираясь на разработанную модель, предложена методика точного определения циркуляционной скорости рабочей среды; а также методика определения стабильности движения циркуляционного потока. Получены результаты по исследованию зависимости циркуляционного движения от расположения вибровозбудителя.

2. Определено, что наиболее рациональным для создания устойчивого циркуляционного движения является расположение вибровозбудителя под днищем контейнера левом в нижнем углу, под углом 45° относительно центра масс контейнера при вращении вала вибровозбудителя против часовой стрелки и, соответственно, в правом углу при вращении вала вибровозбудителя по часовой стрелке.

Литература

1. Волков И.В. Повышение производительности процесса вибрационной обработки деталей на отделочных и упрочняющих операциях: Дис. ... канд. техн. наук – Луганск, 2008. – 164 с.