

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОВИХРЕВЫХ МОДУЛЕЙ СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ

КАЗАРИНА ЛИДИЯ АЛЕКСАНДРОВНА ⁽¹⁾, ГАБИБУЛЛАЕВ КУРБАН ЗУБАЙЛОВИЧ ⁽²⁾

Студент 4 курса, студент 4 курса

кафедра «Технология машиностроения»

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

Научный руководитель: П.Е. Елхов.

кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»

Одной из главных задач автоматизации сборки должно быть обеспечение ее гибкости, в том числе в массовом и крупносерийном производстве. Операции обработки сложных деталей на станках или станочных линиях требуют около 20...30 с., однако, автоматическая сборка таких деталей выполняется за 2...3 с. Поэтому для быстрой окупаемости затрат на автоматизацию необходимо, чтобы машина собирала несколько разных изделий, т.е. обеспечивала бы групповую или гибкую сборку. Роботы на сборке являются достаточно удачным средством обеспечения гибкости процесса. Однако, чаще всего, они выполняют операции транспортировки деталей, подачи их в рабочую зону и т.д., но не сборку непосредственно.

Вместе с тем опыт показывает, что большую экономическую эффективность дает использование робота для выполнения основных операций взаимной ориентации и соединения деталей. Однако точность позиционирования руки робота должна быть выше, чем точность сопрягаемых деталей. Поэтому нужны новые технологические решения, которые позволят упростить конструкции сборочных машин и при этом повысить качество сборки и их производительность.

Поставленная задача ориентирования будет решена, если станет возможным перемещение материальной точки с монотонно изменяющейся скоростью, из любого положения на поверхности в заданное. Это может быть достигнуто путем колебания поверхности с разными частотами или амплитудой, убывающими или нарастающими в определенном направлении в разных ее точках.

Следовательно, для того, чтобы обеспечить направленное перемещение материальной точки из любого положения на поверхности до определенного, заданного, положения на этой поверхности, необходимо сообщать этой поверхности не традиционно используемые при вибрационном перемещении плоско - параллельные колебания, а колебания качательного характера, т.е. колебания вокруг некоторой горизонтальной оси. Под действием этих колебаний материальная точка будет перемещаться в направлении к этой оси с монотонно убывающей скоростью.

Для того чтобы обеспечить перемещение материальной точки в определенную точку поверхности, следует сообщать этой поверхности колебания вокруг взаимно перпендикулярных осей, пересекающихся в этой точке, причем колебания вокруг одной оси должны быть сдвинуты по фазе относительно колебаний вокруг другой оси (рисунк 1).

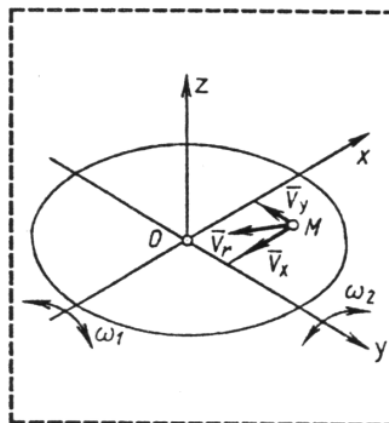


Рисунок 1 - Иллюстрация способа ориентирования с помощью направленных вибраций

Одним из таких решений является применение пневмовихревых модулей. При сборке с помощью модуля деталь 6 подается на плоскость тарелки 4, совершающей сложные движения, которые создаются при подаче воздуха через тангенциальные сопла 1 втулки 2 в зазор между внутренней поверхностью втулки и стержнем 3 (рисунок 2).

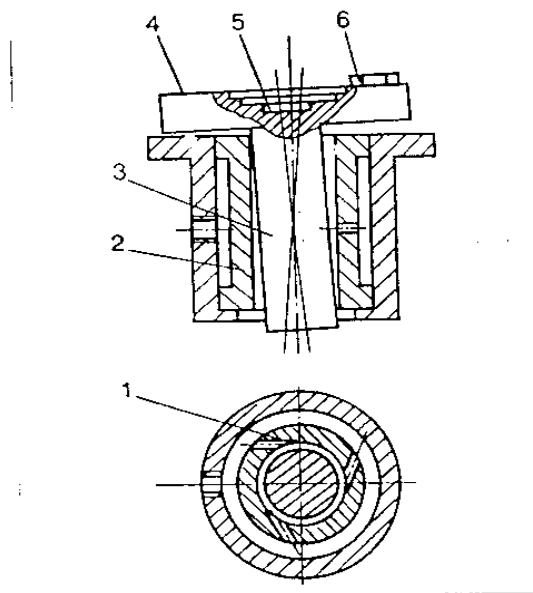


Рисунок 2- Конструкция пневмовихревого модуля.

Практика использования пневмовихревых методов сборки подтвердила их высокую эффективность и надежность. Однако, при использовании этих методов, в первую очередь ориентирующе-сборочных модулей, имели место случаи, когда деталь 6, подаваемая на тарелку 4, совершающую вращательно-колебательные движения, не двигалась к центру, не попадала в предназначенные для неё гнезда 5, а иногда и выбрасывалась за пределы тарелки. Это объяснялось неправильным

сочетанием ряда конструктивных параметров модуля, а так же параметров, характеризующих условия его работы. Поэтому весьма актуальным является анализ ориентирующе-сборочных модулей с целью выявления таких значений их параметров, при которых ориентация и сборка деталей происходит со стопроцентной надежностью и, по возможности, за минимальное время T . Иными словами, необходимо моделирование процесса пневмовихревой сборки и конструкции пневмовихревых модулей, прежде всего, ориентирующе-сборочных.

Необходимо изучение физики процесса сборки с помощью воздушного вихря, выявление факторов и параметров, оказывающих основное влияние на конечный результат, с целью управления перемещением, ориентированием и сопряжением деталей. Моделирование процесса пневмовихревой сборки особенно важно на стадии проектирования сборочного оборудования, т.к. изменение параметров процесса после изготовления узлов сборочного оборудования и их предварительного испытания требует много времени и финансовых затрат.

Для изучения движения детали необходимо составление математической модели пневмовихревого модуля, которая позволила бы с достаточной точностью определить области изменения конструктивных размеров модуля и эксплуатационных характеристик (частоты колебаний, зазоров) при которых деталь гарантированно будет перемещаться к центру диска пневмовихревого модуля.

Как показали предыдущие теоретические и экспериментальные исследования, стержень с тарелкой совершает сложные пространственные движения, обусловленные воздушным вихрем и зазорами между стержнем и втулкой.

Для возможности предварительного анализа изменения параметров пневмовихревого метода, заменим сложные пространственные движения стержня, с тарелкой, плоскопараллельным планетарным движением. В качестве расчетной схемы динамической модели примем схему (рисунок 3).

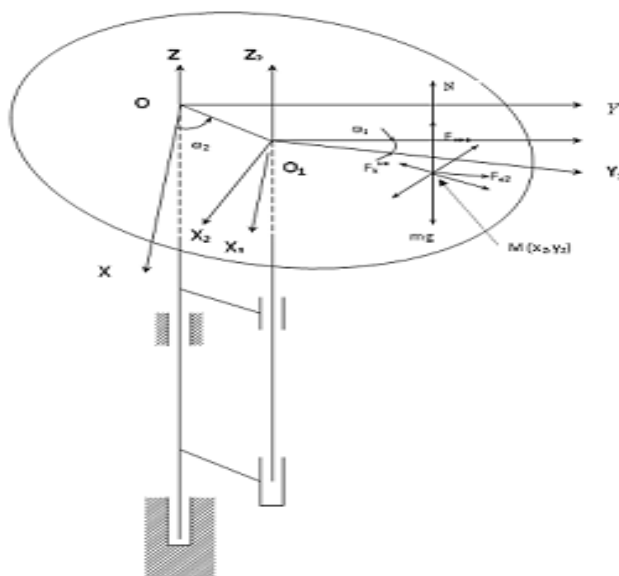


Рисунок 3 - Расчетная схема движения детали по тарелке пневмовихревого метода

Для данной расчетной схемы динамической модели составлена математическая модель, при этом для учета вертикальных колебаний тарелки в точке M будем считать, что на деталь в этой точке будет действовать сила инерции $\overline{F_{инв}}$, которая зависит от условий колебаний.

При решении дифференциальных уравнений математической модели необходимо учитывать, что сила трения является дискретной величиной и зависит от того, перемещается деталь по тарелке или нет. В то время, когда деталь неподвижна относительно тарелки, сила трения равна сумме сил, действующих на деталь в плоскости тарелки, но не больше величины:

$$F_{mp} = f_n N, \text{ где}$$

f_n – коэффициент трения покоя (деталь на тарелке неподвижна).

При этом направление силы трения противоположно направлению суммарной силы, действующей в плоскости тарелки на деталь. При условии, когда сумма всех сил, кроме силы трения, становится больше, чем сила трения покоя, деталь начинает перемещаться по тарелке. В этом случае сила трения:

$$F_{mp} = fN, \text{ где}$$

f – коэффициент трения.

Сила трения скольжения детали, находящейся в точке М, массой m по тарелке направлена противоположно относительному перемещению детали.

Проекция силы трения на оси координат определяется по зависимостям:

$$F_{mpx} = -fN \frac{V_{2x}}{\sqrt{V_{2x}^2 + V_{2y}^2}}$$

$$F_{mpy} = -fN \frac{V_{2y}}{\sqrt{V_{2x}^2 + V_{2y}^2}}, \text{ где}$$

V_2 – скорость перемещения детали по тарелке.

Сила инерции в вертикальной плоскости определится по зависимости:

$$\overline{F_{инв}} = -mh'' = -ma\theta(\omega_2 + \omega_1)^2 \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\omega_2 t + \omega_1 t + \arctg \frac{x_2}{y_2})\right]$$

Кроме того, в направлении наибольшего наклона тарелки на угол θ (направление OO_1) будет действовать сдвигающая сила, проекции которой на оси координат будут:

$$F_{\theta x} = N\theta \cos \omega_2 t$$

$$F_{\theta y} = N\theta \sin \omega_2 t.$$

Для численного решения дифференциальных уравнений движения детали по тарелке пневмовихревого модуля и математического моделирования процесса движения разработана программа для персонального компьютера, позволяющая воспроизводить на дисплее траекторию и вычислять время движения детали по тарелке в зависимости от влияющих на это движение геометрических и динамических параметров.

При численном решении дифференциальных уравнений движения детали по тарелке необходимо знать области изменения частоты ω_2 колебаний тарелки, при которых деталь двигалась бы к центру или вылетала с тарелки.

Учитывая величины сил, действующих на деталь, находящуюся в т. М тарелки, проведем анализ движения детали. Как показали экспериментальные и теоретические исследования при проверке адекватности расчетной схемы пневмовихревого модуля при зазоре между стержнем и втулкой равном 3 мм, диаметре тарелки 120 мм

$$\omega_1 = \frac{1}{40} \omega_2, \text{ при меньших зазорах } \omega_1 \leq \frac{1}{40} \omega_2.$$

Найдем отношение сил инерции при указанных выше размерах:

$$\frac{F_{e_2}^{un}}{F_{e_1}^{un}} = \frac{m\omega_2^2}{32 \cdot 3 \cdot m\omega_2^2} = \frac{1}{96}, \text{ что составляет около } 1\%.$$

При зазоре 2 мм это отношение будет $\frac{F_{e_2}^{un}}{F_{e_1}^{un}} = \frac{1}{144}$, что меньше 1%.

Т.е. без большой ошибки при анализе движения детали по тарелке центробежной силой от вращения диска с угловой скоростью ω_1 можно пренебречь.

Таким образом, при предварительном анализе, для определения границ изменения частоты ω_2 колебаний, при которых возможно движение детали к центру тарелки или отбрасывание детали к периферии, при различных зазорах между стержнем и втулкой, и различных размерах тарелки, а также при изменении коэффициента трения будем считать, что деталь падает на тарелку в точку М без начальной скорости $V_e \approx 0$ вдоль плоскости тарелки, т. е. на деталь не действует в начальный момент кориолисово ускорение.

Поместим деталь в точку М с координатами $x_2=0, y_2=a$, без начальной скорости $V_e=0$, при $t=0$.

В окрестностях точки М на деталь будут действовать сила трения $F_{тр} = Nf$ и силы, сдвигающие деталь

$$F_{сд} = mr\omega_2^2 + (mg - F_{инг})\theta,$$

$$F_{инг} = -ma(\omega_2 + \omega_1)^2 \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\omega_2 t + \omega_1 t) + \arctg \frac{x_2}{y_2}\right]$$

т.к. $\omega_1 \ll \omega_2$, можно принять, что $\omega_1 = 0$, тогда

$$F_{инг} = -ma\omega_2^2 \cos\left[\frac{\pi}{2} - \omega_2 t\right]$$

При угле поворота $0 < \omega_2 t < \pi$, сила $F_{инг}$ дополнительно прижимает деталь к тарелке, а при угле $\pi < \omega_2 t < 2\pi$ - уменьшает силу прижима.

Деталь будет двигаться к центру при $\pi < \omega_2 t < 2\pi$, тогда при $\omega_2 t = n$,

$$mgf = mr\omega_2^2 + mg\theta,$$

откуда наибольшая угловая скорость тарелки, когда деталь не выбрасывается, определяется по формуле

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{g(f - \theta)}{r}}.$$

Наименьшая угловая скорость, при которой деталь движется к центру будет при $\omega_2 t = \frac{3\pi}{2}$, тогда $(mg - ma\theta\omega_2^2)f = mr\omega_2^2 + mg\theta$

Отсюда определится наименьшая угловая скорость тарелки, при которой деталь будет двигаться к центру.

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{g(f - \theta)}{r + af\theta}}, \quad \text{где } \theta = \frac{2r}{l}.$$

Так как некоторые специалисты высказывали мнение о том, что деталь при определенных режимах работы может перемещаться к центру с отрывом от тарелки, было также проанализировано, при каких частотах ω_2 возможно подпрыгивание

детали на тарелке. Это возможно только в том случае, когда вертикальное ускорение детали будет больше ускорения свободного падения g и направлено вверх.

Рассмотрим условия, при которых деталь будет отрываться (прыгать) от тарелки пневмовихревого модуля. Это осуществимо только в том случае, когда вертикальная сила инерции будет больше mg , т.е.

$$\theta m a (\omega_2 + \omega_1)^2 \cos\left[\frac{\pi}{2} - (\omega_2 t + \omega_1 t) + \arctg \frac{x_2}{y_2}\right] > mg.$$

Учитывая, что $\omega_1 \ll \omega_2$ и наибольшее значение силы инерции будет при $\cos \alpha = 1$, получим

$$a \theta \omega_2^2 > g \quad \text{отсюда} \quad \omega_2^2 > \frac{g}{a \theta} = \frac{g}{a \frac{2r}{l}}.$$

Рассмотрим траектории движения детали в неподвижной системе координат, соответствующие различным областям частот ω_2 (рисунок 4). Так, на рисунке 4а приведена траектория описываемая деталью, когда она на тарелке неподвижна из-за недостаточной скорости вращения и амплитуды колебаний тарелки.

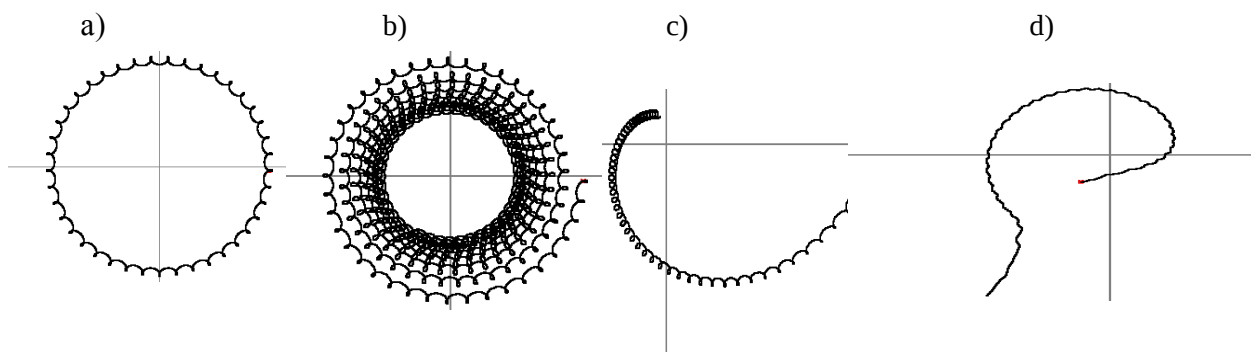


Рисунок 4 - Траектории движения детали по тарелке пневмовихревого модуля:
а - деталь по тарелке не перемещается, б – деталь не достигает центрального отверстия в тарелке, с - деталь попадает в центральное отверстие, d - деталь вылетает с тарелки.

Для проверки адекватности расчетной траектории движения детали по тарелке, воспользуемся результатами экспериментальных исследований траектории движения точки, принадлежащей колеблющейся поверхности тарелки в горизонтальной проекции.

В этих исследованиях, светящаяся точка поверхности тарелки создавалась электрической лампочкой, закрепленной в закрытом корпусе на плоскости тарелки. В корпусе имелось отверстие диаметром 0,1 мм. Проводилась фотосъемка на один кадр перемещения светящейся точки на темном фоне, т.е. в неподвижной системе координат (2). Результаты этих экспериментальных исследований приведены на рисунке 5.

Анализ фотографий подтверждает, что процесс движения стержня во втулке пневмовихревого модуля является установившимся, так как значительных колебаний петель не наблюдается.

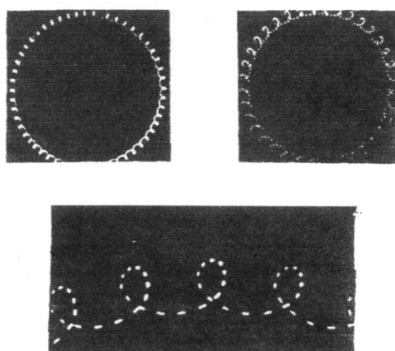


Рисунок 5 - Траектории светящейся точки тарелки ПВМ в неподвижной системе координат (2).

Рисунок 4в. иллюстрирует случай, когда деталь начинает двигаться к центру тарелки, но частота колебаний тарелки ещё недостаточна, чтобы деталь достигла центра.

Траектория движения детали, приведенная на рисунке 4с, указывает, что при данной частоте колебаний тарелки, деталь устойчиво перемещается к центру. При больших частотах колебаний тарелки деталь вылетает с неё, даже если деталь попадает на тарелку близко к центру (рисунок 4д).

Моделирование, на электронных вычислительных машинах, процесса пневмовихревой сборки позволило определить время перемещения детали по тарелке к центру при различных параметрах.

Так, на рисунке 6 приведены графики времени перемещения детали, попадающей на тарелку в точке, отстоящей от центра на расстоянии 50 мм при различных коэффициентах трения f . Анализ графиков показывает, что диапазон частот ω_2 , при которых деталь стабильно перемещается к центру небольшой. Если частота колебаний тарелки мала, то деталь может перемещаться длительное время или вообще быть неподвижной на тарелке.

Частоты колебаний большие, чем приведенные на графиках, приводят к выбросу детали с тарелки.

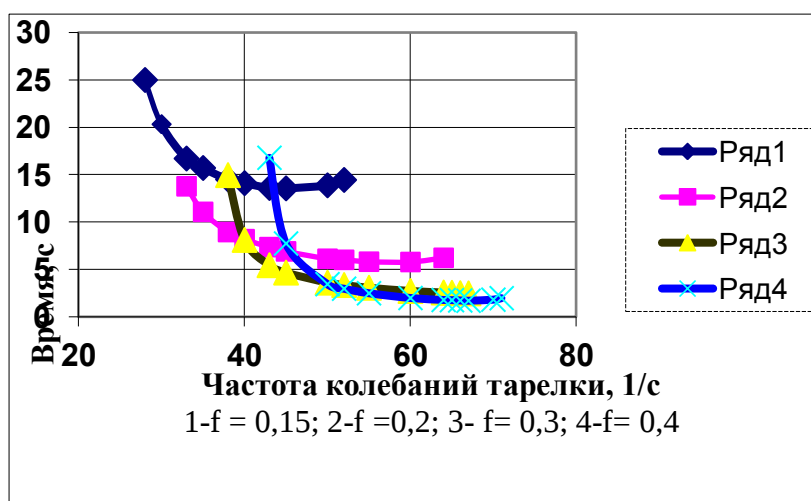


Рисунок 6- Время движения детали по тарелке в зависимости от коэффициента трения.

Рисунок 7 показывает продолжительность перемещения детали по тарелке в области стабильных частот колебаний при различных зазорах между стержнем тарелки и втулкой пневмовихревого модуля.

Анализ графиков показывает, что с увеличением зазоров, т.е. амплитуды колебаний, продолжительность перемещения детали не уменьшается, а уменьшается диапазон частот колебаний, обеспечивающих стабильное перемещение детали к центру.

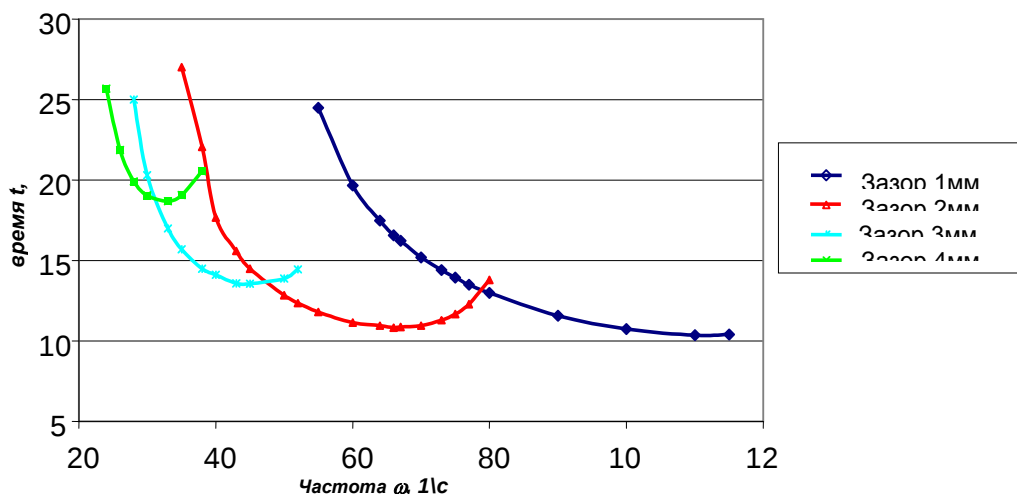


Рисунок 7- Время движения детали по тарелке пневмовихревого модуля в зависимости от зазора между стержнем и втулкой.

По формулам, определяющим диапазоны частот ω_2 колебаний тарелки, были подсчитаны частоты колебаний ω_2 при различных зазорах r и разных коэффициентах трения f при $a=50$ мм, результаты расчетов представлены на рисунке 8.

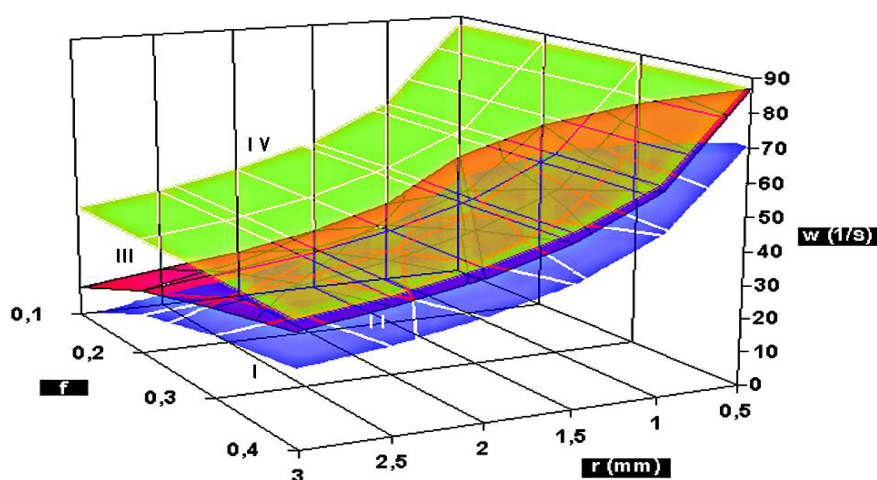


Рисунок 8 - Области допустимых частот колебаний тарелки:
 I- деталь по тарелке не перемещается, II- деталь движется к центру,
 III - частоты колебаний, при которых возможен выброс детали с тарелки,
 IV- деталь вылетает с тарелки с подпрыгиванием.

Анализ графика рисунка 8 показал, что зависимость частоты колебаний ω_2 от зазоров между стержнем и втулкой r является гиперболической. Диапазон частот ω_2 , при которых возможно движение детали к центру является относительно небольшим и зависит от коэффициента трения.

Результаты расчетов, представленные на том же графике рисунка 8, показали, что частоты ω_2 , при которых деталь подпрыгивала бы на тарелке, находятся в диапазоне, когда деталь движется по тарелке от центра.

Опыт эксплуатации сборочного оборудования, основанного на применении нетрадиционной технологии, показал, что, если параметры процесса выбраны правильно, отказы из-за несобираемости деталей практически отсутствуют, т. е., параметрическая надежность такого оборудования является очень высокой.

Литература

1. М.В. Вартанов, Л. В. Божкова, Е. И. Кольчугин. Компьютерное моделирование метода роботизированной сборки на основе пассивной адаптации с использованием виброколебаний. журнал Известия МГТУ «МАМИ» №2(4), 2007, 147-151.
2. A. Daszczenko, W. Bedrin, O. Daszczenko. Montaz w zacisku robota, czy ma to uzasadnienie. Technologia i Avtomatyzacja Montazu, N 4, 1997, 8-10.