

быть использовано для автоматического контроля износа режущего инструмента на металлообрабатывающих станках, работающих в режиме ударного резания, в частности на зуборезных станках. Устройство контроля позволяет предотвратить катастрофический износ зубопротяжного инструмента, контролировать процесс зубонарезания и при необходимости остановить процесс обработки. Применение устройства повышает надёжность и качество информации о состоянии станочного цехового оборудования [5]. Включение устройства в общецеховую систему дистанционного контроля станков даёт возможность оператору следить за технологическими процессами в реальном времени.

#### Литература

1. В.Н.Подураев. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высшая школа, 1974. 587 с.
2. Ю.А.Бражкин, А.М.Васильев, А.Н.Иванников, Н.В.Терехов. Устройство для контроля износа режущего многолезвийного инструмента. Авторское свидетельство СССР № 1.509 187, Кл. В 23 В 25/06, 21.01.87. // Бюллетень №35, 23.09.89.
3. Н.В.Терехов, Ю.А.Бражкин, Е.П.Гавриков. Вибродиагностика нарезания зубчатых колёс. // Автомобильная промышленность. 1994. №5. С.25-26.
4. Н.В.Терехов, Ю.А.Бражкин. Контроль обрабатываемости деталей при зубопротягивании в машиностроении. // Тез. Российской (с международным участием) конференции “Неразрушающий контроль в науке и индустрии-94”. М.: 1994. С.110-111.
5. Ю.А.Бражкин. Акустический контроль металлорежущего инструмента на зуборезных станках. // Материалы Международной конференции и Российской научной школы “Системные проблемы надёжности, качества информационных и электронных технологий”. Ч.2. Москва, 2004. С.76-77.

#### **Компьютерное моделирование метода роботизированной сборки на основе пассивной адаптации с использованием виброколебаний**

д.т.н., проф. Вартанов М.В., д.т.н., проф. Божкова Л.В., Кольчугин Е.И.  
МГТУ «МАМИ»

*В статье приводятся результаты моделирования процесса сборки цилиндрических деталей на основе низкочастотных колебаний виброопоры с базовой деталью и упругого закрепления устанавливаемой детали. С использованием разработанного программного комплекса определено влияние технологических режимов и конструктивных параметров схвата, в частности жесткости закрепления детали.*

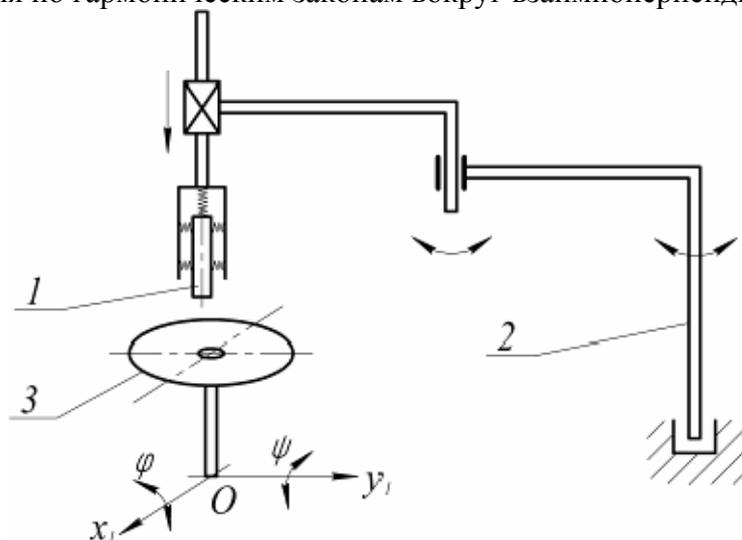
Роботизированная сборка (РС) – относительно молодое направление технологии машиностроения. Несмотря на это, к настоящему времени разработано достаточно много различных методов РС, призванных повысить производительность и качество сборки, расширить ее технологические возможности, упростить и удешевить оборудование.

Для выполнения соединений с помощью промышленных роботов, имеющих большую погрешность позиционирования, применяют активную и пассивную адаптацию. Методы активной адаптации предполагают устранение ошибки за счет силовой обратной связи. При этом необходимая оснастка является весьма дорогостоящей. Кроме того, активную адаптацию трудно применять для тяжелых деталей. Методы пассивной адаптации предполагают наличие элементов направленной жесткости, деформация которых приводит к возникновению упругих сил, компенсирующих погрешность взаимной ориентации собираемых деталей. Вследствие этого оборудование на основе пассивной адаптации легко перенастраивается, может применяться для массивных деталей и значительно дешевле.

Нами предложен метод роботизированной сборки цилиндрических соединений типа «вал–втулка» с применением пассивной адаптации и вибрационных колебаний. Мы предполагаем, что виброколебания базовой детали помимо обеспечения направленного совмещения центров масс деталей позволят исключить влияние взаимного перекоса на процесс сопряжения, т.к. это чаще всего приводит к заклиниванию деталей.

Поставленной задаче соответствует следующая кинематическая схема процесса сборки

(рис. 1). Вал базируется в схвате манипулятора и имеет возможность упругих перемещений в вертикальной плоскости по двум взаимноперпендикулярным направлениям. Втулка установлена на ориентирующем диске, жестко связанном со вторым звеном вибрационного устройства. Вибрационное устройство представляет собой двухзвенный манипулятор, каждое звено которого приводится в движение от отдельного привода и совершает низкочастотные вибрационные колебания по гармоническим законам вокруг взаимноперпендикулярных осей.



**Рис. 1. Кинематическая схема метода APC с применением пассивной адаптации и виброколебаниями базовой детали: 1) устанавливаемый вал; 2) промышленный робот; 3) виброопора с установленной в ней базовой деталью**

Для выявления эффектов, обусловленных наличием вибрационных колебаний базовой детали, была построена математическая модель динамики относительного движения центра масс устанавливаемой детали (вала) по отношению к базовой детали (втулке) для случая их одноточечного контакта. Основой при построении указанной математической модели стало дифференциальное уравнение движения центра масс вала по отношению к неинерциальной системе координат, жестко связанной с вибрирующей базовой деталью.

С учетом сложности рассматриваемой задачи в расчетную схему механической системы был введен ряд допущений, упрощающих динамическое моделирование:

- пренебрегли упругой податливостью звеньев манипулятора (кинематических пар);
- считали динамические характеристики всех двигателей идеальными;
- приняли равными коэффициенты жесткости упругих элементов схвата ( $c_1 = c_2 = c$ );
- считали удар в точке контакта абсолютно неупругим.

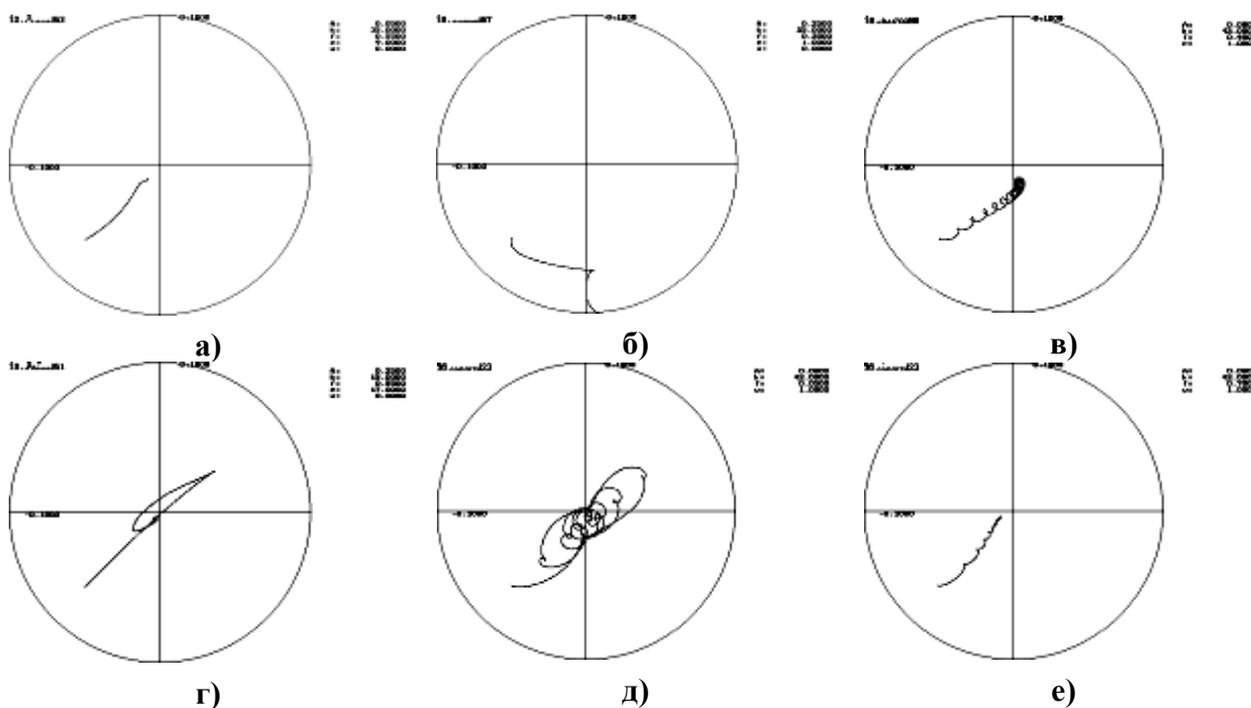
При помощи эффективного аппарата матриц преобразования однородных координат [1] получили систему дифференциальных уравнений относительного движения центра масс вала по отношению к вибрирующей базовой детали (то есть по отношению к неинерциальной системе координат) в случае наличия контакта собираемых деталей в одной точке, а также в случае, когда этот контакт нарушался, то есть происходил отрыв вала от поверхности базовой детали [2].

Следующим шагом для определения характера относительного движения вала и втулки было получение проекции траектории перемещения центра масс вала на плоскость ориентирующего диска. Для этого в среде TurboPascal был разработан пакет программ, реализующий математическую модель и представляющий в качестве выходных данных искомые траектории.

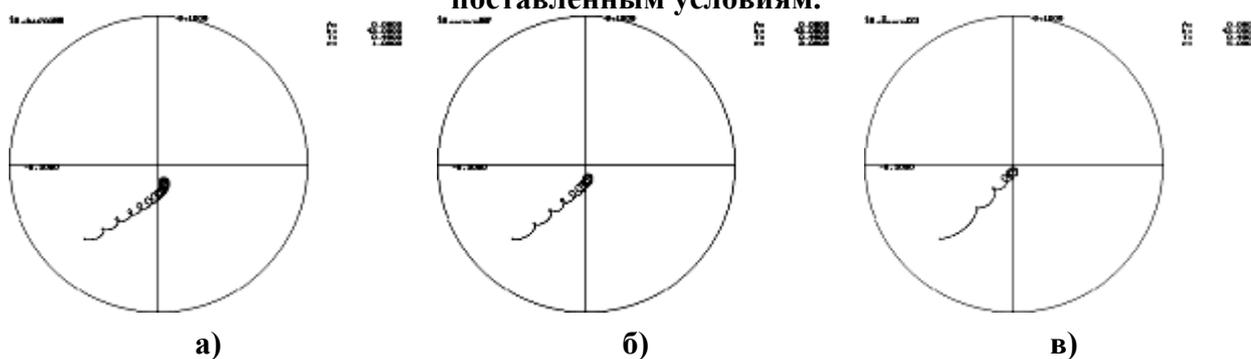
С целью исследования влияния на движение вала различных сочетаний конструктивно-технологических параметров был спланирован численный эксперимент. Чтобы охватить широкую область варьирования режимов при небольшом числе опытов, был спланирован дробный факторный эксперимент с изменением 4-х параметров:

- амплитуда колебаний;

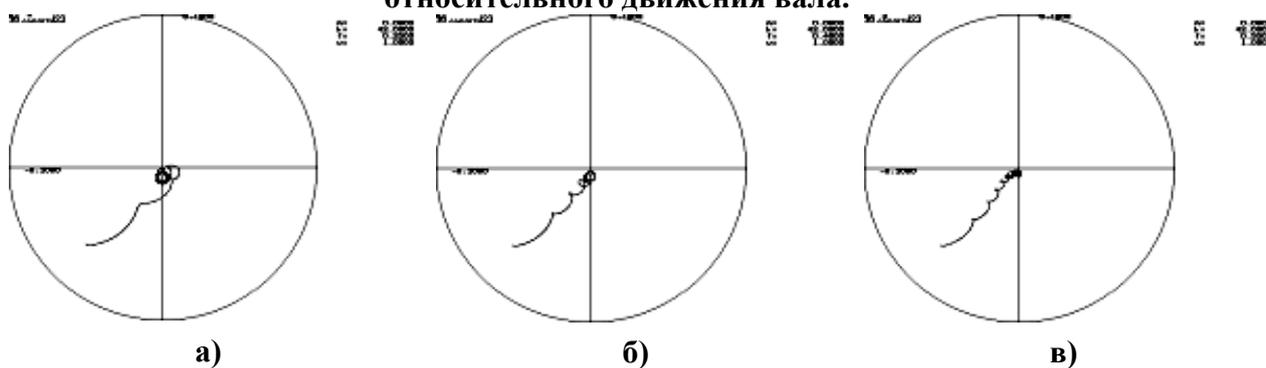




**Рис. 3. Примеры траекторий движения центра масс вала, не удовлетворяющих поставленным условиям.**

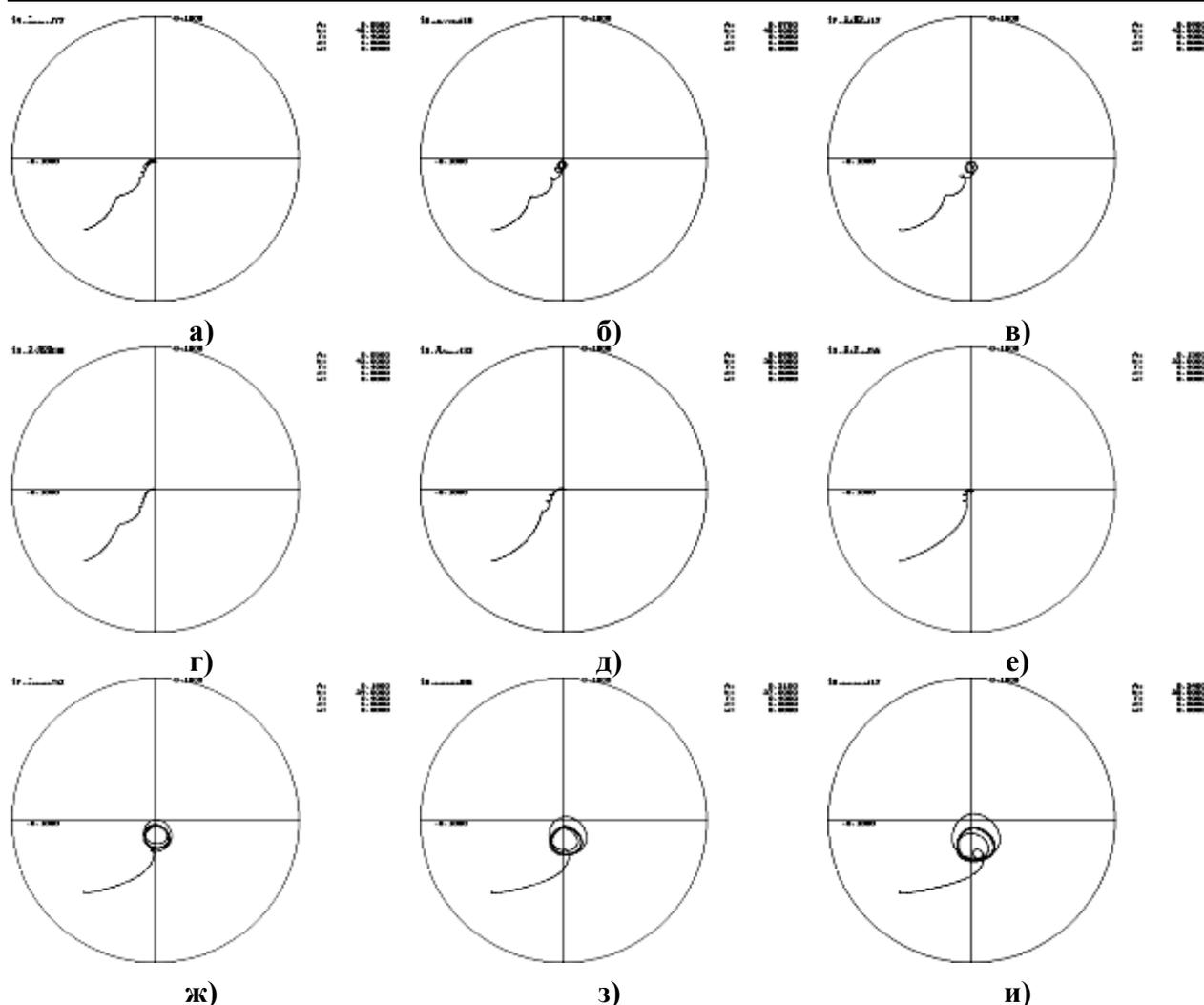


**Рис. 4. Влияние жесткости упругих элементов схвата на характер траектории относительного движения вала.**



**Рис. 5. Влияние коэффициента трения скольжения в точке контакта на характер траектории относительного движения вала.**

С ростом амплитуды виброколебаний увеличивается интенсивность перемещения вала к центру ориентирующего диска и размеры витков траектории (рис. 6 а, б, в), что в сочетании с уменьшением частоты колебаний дает хорошие результаты (рис. 6 г, д, е). При одновременном возрастании амплитуды и частоты происходит увеличение размеров витков траектории (рис. 6 ж, з, и) вплоть до потери стабильности и выброса детали из зоны сборки (рис. 3 б).



**Рис. 6. Влияние амплитуды и частоты виброколебаний базовой детали на характер траектории относительного движения вала.**

В дополнение к дробному четырехфакторному эксперименту был проведен полный двухфакторный эксперимент для амплитуды и частоты колебаний с целью исследования их взаимного влияния. При этом значения коэффициента трения скольжения в точке контакта и жесткости упругих элементов схвата оставались постоянными и были выбраны оптимальными по результатам дробного эксперимента. Таким образом, была найдена область значений амплитуды и частоты, обеспечивающих стабильное движение центра масс вала к центру втулки (рис. 7).

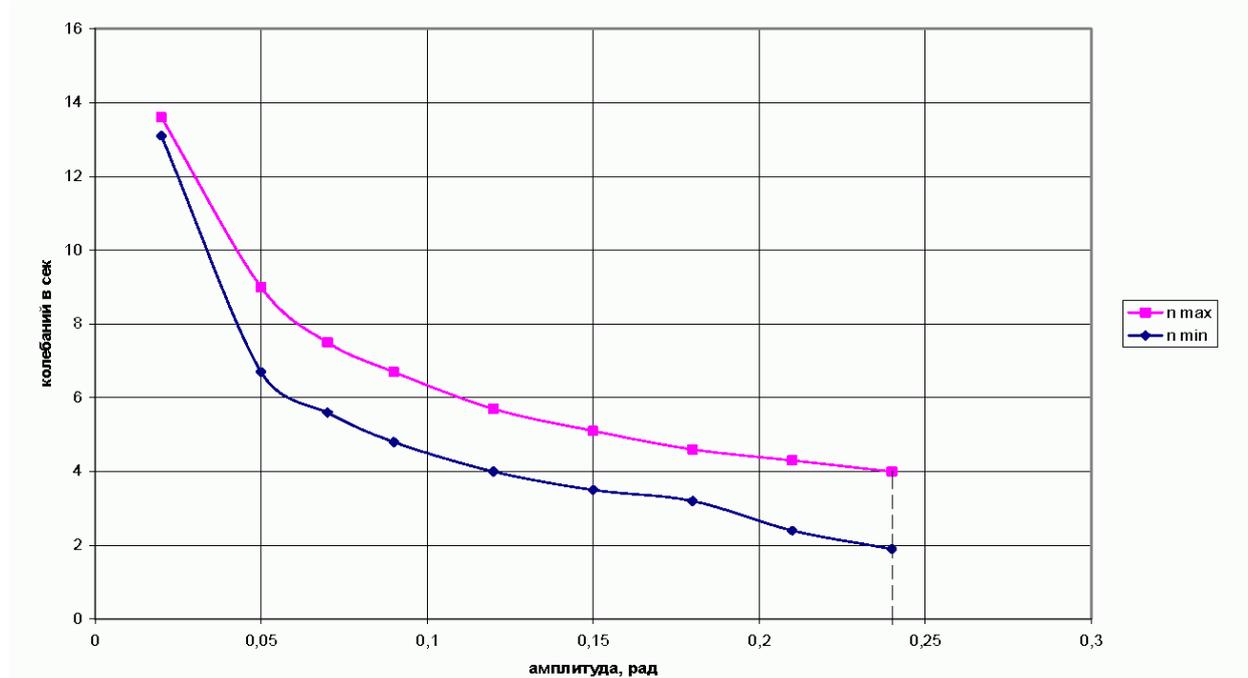
Результаты моделирования подтвердили предположение о том, что виброколебания способствуют направленному совмещению центров масс деталей.

С помощью дробного четырехфакторного численного эксперимента были предварительно ограничены интервалы варьирования параметров (рис. 2), в которых обеспечивается требуемый характер движения присоединяемого вала по отношению к базовой втулке.

Анализ результатов полного двухфакторного эксперимента показал, что существуют области значений амплитуды и частоты колебаний, обеспечивающие движение центра масс устанавливаемой детали по траектории, которая асимптотически приближается к центру базовой детали (рис. 6 г, д, е).

### Выводы

Для получения более точных численных интервалов значений параметров устройств и режимов вибрации вследствие рассмотрения их взаимного влияния необходим полный четырехфакторный эксперимент, в ходе которого будут проанализированы все сочетания параметров и их взаимодействие.



**Рис. 7. Область значений амплитуды и частоты, обеспечивающих стабильное движение центра масс вала к центру втулки.**

#### Литература

1. Юревич Е.И. Основы робототехники: Учебник для вузов. – Л.: Машиностроение, ленингр. отделение, 1985. – 271 с.
2. Бутенин Н.В. и др. Курс теоретической механики. В двух томах. Т.1, Т.2 – М.: Наука, 1979.
3. Протодьяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов – М.: Наука, 1970. – 76 с.

#### **Расходы на метрологическое обеспечение изделий на этапах их жизненного цикла**

к.т.н., проф. Грибанов Д.Д.  
МГТУ «МАМИ»

*Рассматриваются цели и задачи метрологического обеспечения изделий на всех этапах их жизненного цикла. Приводятся формулы для оценки расходов на выполнение метрологических работ, осуществляемых в процессе метрологического обеспечения применительно к каждому этапу жизненного цикла изделия.*

В условиях рыночных отношений важнейшей качественной характеристикой хозяйствования является эффективность производства. Снижение издержек производства, рациональное использование всех видов ресурсов, достижение более высоких экономических показателей и, прежде всего, повышение производительности труда, снижение себестоимости являются наиболее важными и актуальными задачами управления деятельностью любой организации.

Любая производственная и научная деятельность не может обойтись без метрологического обеспечения. Без надлежащим образом организованного метрологического обеспечения невозможно развитие науки, а также создание продукции требуемого уровня качества.

Роль метрологического обеспечения продукции на всех стадиях ее жизненного цикла неуклонно возрастает практически во всех областях научного познания и особенно на практике.

В современных условиях рыночных отношений, складывающихся у нас в стране и характеризующихся жесточайшими требованиями по выживанию предприятий, необходимо знать с достаточной степенью уверенности, какие расходы несет предприятие при создании и