



ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ АДАПТАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ

С.В. Кузнецова, А.Л. Симаков

(Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева)

Определена структура и выявлены функциональные элементы средства пассивной адаптации деталей при сборке. Основное внимание в работе уделено анализу задающего элемента, определяющего динамику движения детали в процессе адаптации. При пассивной адаптации роль задающего элемента выполняет направляющая поверхность. Цель исследования – поиск рациональных параметров направляющей поверхности для средства пассивной адаптации при автоматизированной сборке, обеспечивающих высокое быстродействие, желаемые динамические показатели качества процесса движения детали, исключение явления заклинивания. Для достижения цели анализируется динамика процесса адаптации детали в устройстве с различными профилями направляющей поверхности. Разработана динамическая модель средства пассивной адаптации детали. Выведено дифференциальное уравнение, описывающее движение детали по направляющей поверхности при адаптации. Разработана компьютерная модель процесса. Исследовано влияние профиля направляющей поверхности на качество процесса движения детали. Установлено, что наилучшим видом профилирующей линии направляющей поверхности является прямая. Выявлены инженерные решения, реализующие направляющую поверхность в средствах пассивной адаптации: фаски соединяемых деталей; торцевые плоскости соединяемых деталей; конструктивные элементы устройства адаптации.

Ключевые слова: автоматизированная сборка, координата адаптации, направляющая поверхность, средство пассивной адаптации, динамический показатель качества, упругий элемент, уравнение движения детали.

Введение

Устройства пассивной адаптации (коррекции) взаимного положения деталей при автоматизированной сборке давно известны и широко применяются [1]. К настоящему времени разработано множество конструктивных решений средств адаптации деталей [2, 3], в основу принципа работы которых заложен способ упругого (нежесткого) базирования. Средства адаптации деталей на основе упругого базирования [1] при несовпадении сопрягаемых поверхностей сборочных компонентов преобразуют перемещения рабочего органа (сборочной машины, манипулятора) в движение соединяемой детали по координатам адаптации. При проектировании данных устройств основное внимание уделяется расчету геометрических параметров упругих элементов и выбору их жесткостей, определению мест их рационального размещения [4, 5].

Однако не менее важным элементом устройства адаптации, выполняющим функцию преобразования движений, является направляющая поверхность. От параметров движения детали по координатам адаптации зависят

показатели сборочного оборудования (быстродействие, точность совмещения), условия сборки (динамические показатели качества процесса совмещения), и успех сборочной операции в целом (отсутствие нежелательных явлений заклинивания деталей). Поэтому необходимо выяснить, как характеристики движения детали зависят от параметров данного преобразующего элемента, то есть направляющей поверхности.

Постановка задачи. Требуется отыскать наилучшую направляющую поверхность для средства пассивной адаптации при автоматизированной сборке, обеспечивающую высокое быстродействие, желаемые динамические показатели качества процесса движения детали, исключение явления заклинивания.

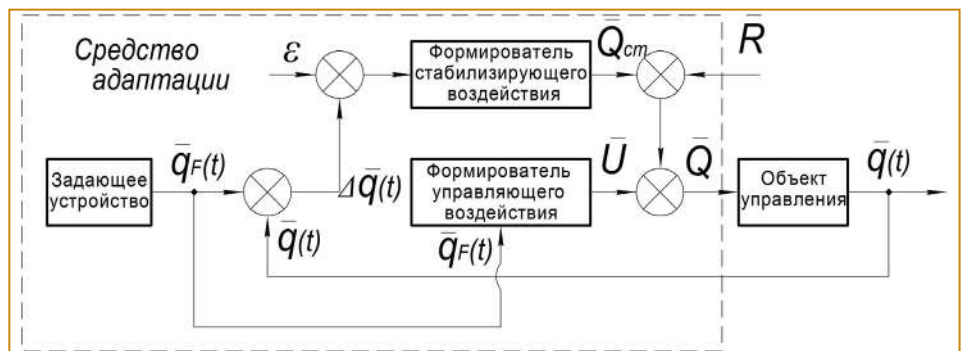


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема средства пассивной адаптации детали при сборке

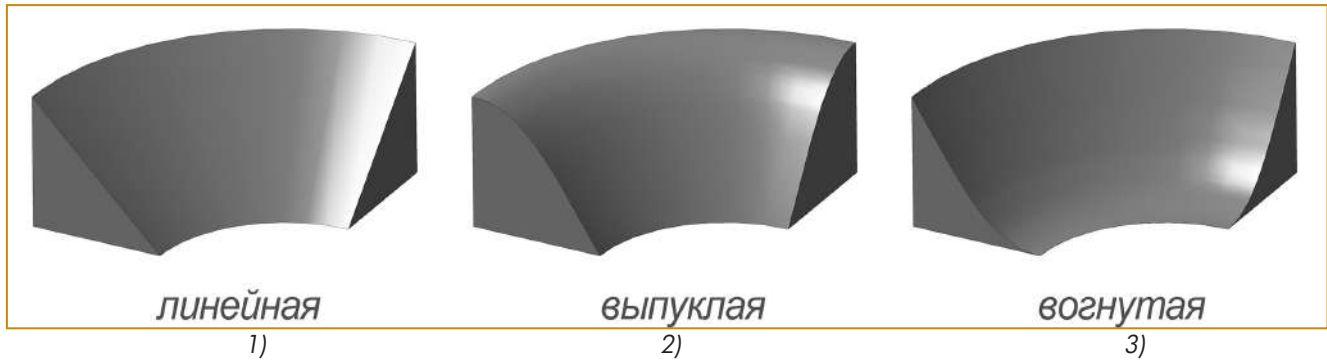


Рис. 2. Формы направляющих поверхностей:

1 – линейная (коническая); 2 – выпуклая (квадратичная); 3 – вогнутая (синусоидальная)

Структура средства пассивной адаптации деталей при сборке

Рассмотрим обобщенную функциональную схему средства пассивной адаптации детали при сборке [6] (рис. 1). Средство адаптации включает: задающее устройство (вырабатывающее программную траекторию $\bar{q}_F(t)$ — требуемую зависимость изменения координаты адаптации $\bar{q}(t)$ от времени); формователи управляющего \bar{U} и стабилизирующего \bar{Q}_{cm} воздействий соответственно (то есть элементы, преобразующие смещение по координате в силовые воздействия \bar{Q} на деталь); элементы сравнения (вычисляющие рассогласование по координате относительно адаптации, а также осуществляющие сравнение действительной $\Delta\bar{q}(t)$ и допустимой ε ошибок положения детали); обратную связь (контур стабилизации, который может быть реализован, например, упругим креплением детали в перемещающем элементе). Объектом управления является соединяемая деталь, положение которой адаптируется перед сборкой. В процессе функционирования средства адаптации действуют возмущения \bar{R} .

При пассивной адаптации роль задающего элемента, отвечающего за формирование программной траектории совмещения [6], выполняет направляющая поверхность. Переменной на входе задающего устройства является перемещение рабочего органа $\bar{S}(t)$, на выходе — программная траектория $\bar{q}_F(t)$. Функция преобразования входного воздействия задающего элемента формирует вид направляющей поверхности. Была установлена взаимосвязь $H(q)$ между обобщенной координатой адаптации и функцией, задающей профилирующую линию направляющей поверхности.

Математическая модель динамики движения детали по координате адаптации q описывается уравнением:

$$m \left[1 + \left(\frac{\partial H}{\partial q} \right)^2 \right] \ddot{q}(t) + \mu \left[1 + \left(\frac{\partial H}{\partial q} \right)^2 \right] \dot{q}(t) + C_r q(t) = C_z [S(t) - H(q)] \left(\frac{\partial H}{\partial q} + \frac{\left[\frac{\partial H}{\partial q} - f \right]}{1 + \left(\frac{\partial H}{\partial q} \right)^2} \right) \quad (1)$$

В уравнении (1) используются следующие обозначения:

m — масса соединяемой детали; μ — коэффициент вязкого трения; C_r и C_z — коэффициенты линейных жесткостей упругого подвеса при деформациях в направлении движения адаптации (горизонтально) и движения совмещения (вертикально) соответственно; f — коэффициент трения скольжения детали по направляющей поверхности; $q(t)$, $\dot{q}(t)$, $\ddot{q}(t)$ — координата адаптации положения детали и ее производные соответственно; $S(t)$ — перемещение рабочего

органа; $H(q)$, $\frac{\partial H}{\partial q}$ — функция профилирующей линии

направляющей поверхности и ее производная.

Анализ динамической модели процесса адаптации позволит выявить, какая направляющая поверхность, преобразующая перемещение рабочего органа в смещения детали по координатам адаптации, должна быть сформирована задающим устройством.

Выбор профилирующей линии направляющей поверхности в средствах адаптации деталей при сборке

Рассмотрим процедуру выбора функции $H(q)$ с применением средств имитационного моделирования.

На основе уравнения (1), описывающего движение детали по направляющей поверхности при пассивной адаптации, была создана компьютерная модель процесса средствами программного комплекса MATLAB. Задача, решаемая на модели, — это исследование влияния профиля направляющей поверхности на качество процесса движения детали по координате q при адаптации.

Для анализа были выбраны три профиля направляющей поверхности (рис. 2): 1 — линейная (коническая); 2 — квадратичная (выпуклая); 3 — синусоидальная (вогнутая). Выбранным профилям соответствуют функции $H(q)$, задающие направляющую поверхность (см. рис. 3,а).

Путем имитационного моделирования получены графические зависимости для координаты адаптации $q(t)$ при движении детали по направляющим поверхностям (рис. 3,б). Профиль направляющей поверхности в модели учтен в виде функции $H(q)$ и ее производной.

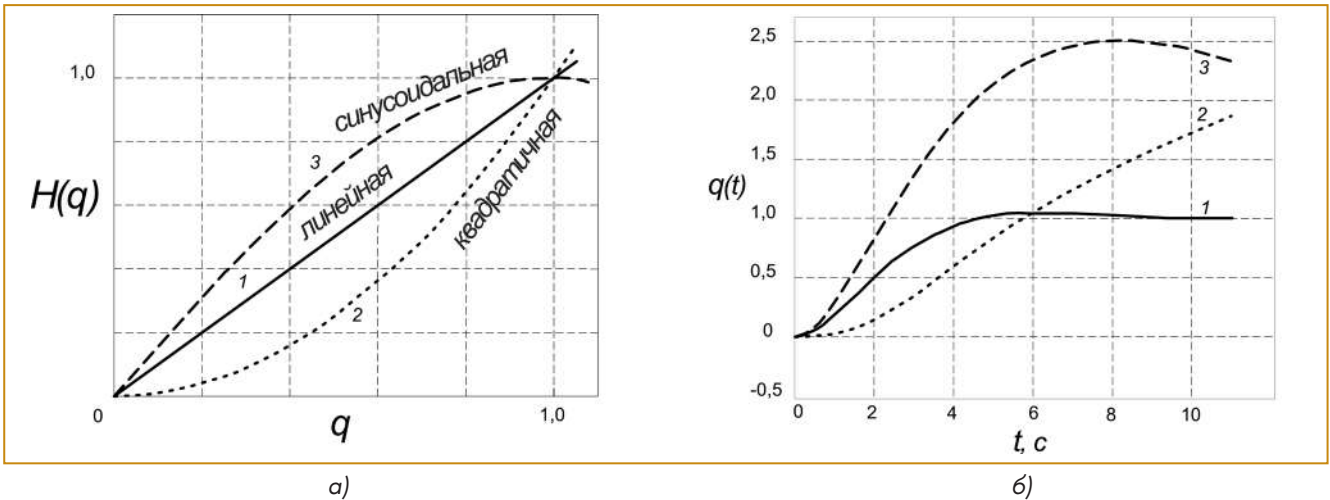


Рис. 3. Профили направляющих поверхностей и динамические процессы при движении по ним: а) функции $H(q)$, задающие поверхность; б) процессы изменения во времени при $S(t) = 1[t]$ обобщенной координаты $q(t)$ при движении по направляющей поверхности: 1 – линейной; 2 – квадратичной; 3 – синусоидальной геометрических форм

дной $\frac{\partial H}{\partial q}$ (геометрические параметры). При моделировании, для исключения влияния на качество процесса движения детали, значения физических параметров процесса адаптации (m, μ, C_p, C_z, f), были приняты единице.

Анализ зависимостей $q(t)$ (на рис. 3,б) позволяет заключить, что смещение по координате адаптации q завершается плавной остановкой при движении по линейному профилю направляющей поверхности; координата q растет линейно при использовании выпуклого профиля (квадратичная функция); процесс для координаты q имеет затухающий колебательный характер, когда применяется вогнутый профиль поверхности (синусоидальная форма).

Сняты зависимости коэффициента передачи задающего воздействия K , постоянной времени T , коэффициента демпфирования ξ динамической модели (1) процесса адаптации от смещения по координате q при различных профилях направляющей поверхности (рис. 4).

Результаты качественной оценки коэффициентов K, T, ξ динамической модели (рис. 4) процесса движения детали по направляющей поверхности:

— *линейный профиль*: параметры K, T, ξ являются константами (на значение влияет угол наклона поверхности $tg\alpha = \frac{\partial H}{\partial q}$), следовательно, качество процесса не меняется (является прогнозируемым);

— *выпуклый профиль*: изменение параметров K, T, ξ (нелинейный рост) свидетельствует о непостоянстве качества процесса движения по координате q (снижается собственная частота системы);

— *вогнутый профиль*: K, T имеют тенденцию к снижению, ξ увеличивается — качество процесса также подвержено изменениям (ослабляется степень передачи задающего силового воздействия — возможна потеря управляемости [7]).

Обобщая вышесказанное, заключаем:

— наилучшим видом профилирующей линии направляющей поверхности является прямая, обеспечивающая стабильность показателей качества динамики процесса адаптации;

— при движении детали по иным профилям направляющей поверхности возникают затухающие колебания упругого подвеса, ограничивающие скорость

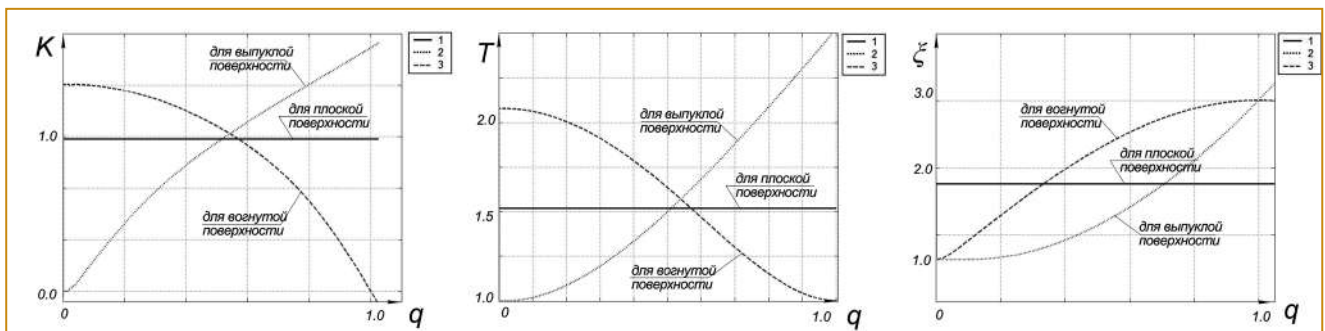


Рис. 4. Зависимость коэффициента передачи K , постоянной времени T , коэффициента демпфирования ξ динамической модели процесса адаптации от смещения по координате q при различных профилях направляющей поверхности

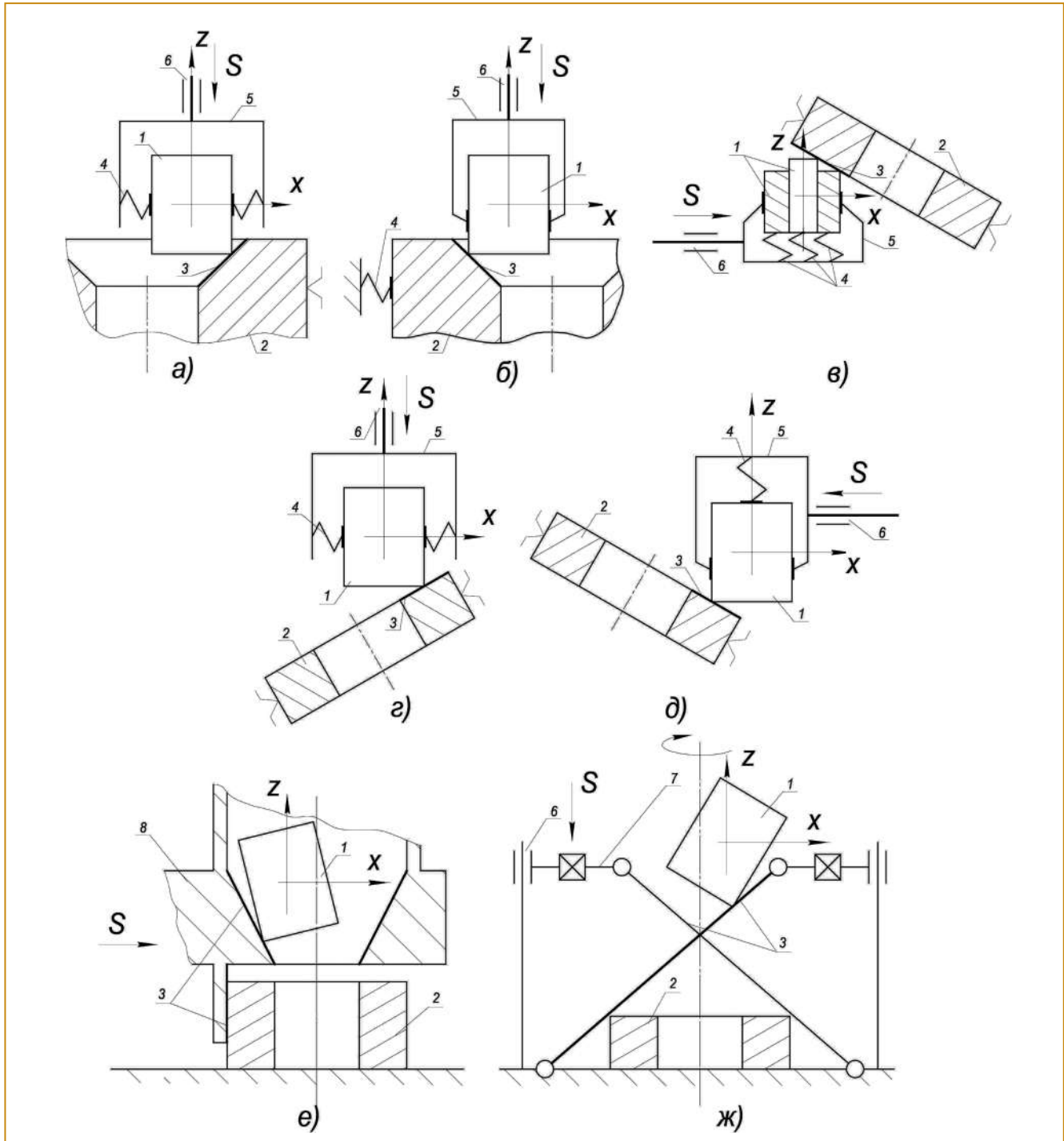


Рис. 5. Варианты реализации задающей поверхности в средствах адаптации.
 Обозначение позиций элементов на схемах: 1 – охватываемая деталь; 2 – охватывающая деталь; 3 – направляющая поверхность (задающий элемент); 4 – упругий элемент; 5 – захватное устройство; 6 – элемент поступательного перемещения; 7 – элемент вращательного перемещения; 8 – сборочная головка

перемещения детали; наличие колебаний приводит к возникновению ускорений детали, ухудшающих условия сборки.

Конструктивная реализация задающей поверхности в средствах адаптации деталей при сборке

Реализация прямолинейной профилирующей конструктивно обеспечивается конической направляющей поверхностью при двух координатах адаптации и наклонной плоскостью при одной координате относительной адаптации.

Продемонстрируем различные варианты исполнения направляющей поверхности, задающей качество движения детали при адаптации и соответствующие конструктивные решения средств пассивной адаптации.

Направляющей поверхностью могут являться: 1) фаски соединяемых деталей (рис. 5 а, б) [1]; 2) торцевые плоскости соединяемых деталей (рис. 5в, г, д) [3];

3) конструктивные элементы устройства адаптации (рис. 5 е, ж) [8], [9].

В основу синтеза конструктивных решений (рис. 5) положен метод инверсии, заключающийся в изменении положения, функций и формы элементов устройства:

— Различие конструктивных приемов рис. 5, (а) и (б) состоит в применении податливого крепления для охватываемой (а) или для охватывающей (б) деталей;

— Варианты рис. 5, (г) и (д) отличается направлением воздействия рабочего органа устройства перемещения: вертикально или горизонтально;

— Расхождение вариантов рис. 5, (в) и (д) заключается в приложении воздействия рабочего органа: к охватываемой (нижней) детали (в) или к охватывающей (верхней) детали (д);

— Характерным отличием конструктивных решений рис. 5, (е) [8] и (ж) [9] является способность к изменению формы направляющей поверхности: коническая воронка неизменного профиля (е) и подвижная воронкообразная линейчатая поверхность, изменяющая форму (цилиндр, однополостный гиперболоид, конус) (ж).

Таким образом, выявлены конструктивные решения средств пассивной адаптации деталей при автоматизированной сборке, в которых используется направляющая поверхность в качестве задающего элемента. Для них установлен вид профилирующей линии — прямая. Иные профили применять не рационально, поскольку возможно ухудшение динамических показателей качества процесса адаптации и, следовательно качества сборки.

Заключение

Результаты выполненной работы.

1. Разработана функциональная схема средства адаптации деталей при сборке. Выявлен задающий элемент, отвечающий за формирование траектории совмещения детали при сборке — это направляющая поверхность.

2. Получено уравнение, описывающее динамику движения детали по направляющей поверхности при относительной адаптации. Установлена взаимосвязь обобщенных координат адаптации и функции, задающей профилирующую линию направляющей поверхности.

3. Разработана компьютерная модель процесса движения детали, с помощью которой исследова-

*Змея говорила: Я-то пряма, а вот щель,
в какую я пролезаю, крива.*
Эффеңди Мансурович Капиев

но влияние параметров направляющей поверхности на качество процесса движения детали при адаптации.

4. Установлено, что наилучшим видом профилирующей линии направляющей поверхности является прямая.

5. Проведен анализ конструктивных вариантов реализации направляющей поверхности в средствах адаптации деталей при сборке.

Список литературы

1. Управление дискретными процессами в ГПС / Л.С. Ямпольский, З. Банашак, К. Хасегава, Б. Крог, К. Такахаши, А.В. Борусан. — К.: Техника; Вроцлав: Изд-во Вроцлав. политехн. ин-та; Токио: Токосе, 1992. — 251с.
2. *Козырев Ю.Г.* Устройства корректировки положения сопрягаемых деталей при сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. №12. С. 17-21.
3. *Бедрин В.М., Бедрина А.В.* Обзор методов и устройств автоматического ориентирования деталей при сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2000. № 2. С. 7-21.
4. *Liu Y., Wang M.Y.* Optimal Design of Remote Center Compliance Devices of Rotational Symmetry. In: Ratchev S. (eds) Precision Assembly Technologies and Systems. IPAS 2014. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 435. Springer, Berlin, Heidelberg.
5. *Колпашиников С.Н., Стояков В.М., Челпанов И.Ю.* Выбор характеристик упругого элемента сборочной головки робота // Автоматизация электронного машиностроения. Труды ЛПИ. 1982. № 382. С. 63-67.
6. *Симаков А.Л.* Реализация алгоритма стабилизации траектории в средствах адаптации для автоматизированной сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2002. № 9. С. 14-18.
7. *Кузнецова С.В., Симаков А.Л.* Анализ условий управляемости для систем автоматизированной сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. №3. С. 7-15.
8. *Кузнецова С.В., Симаков А.Л.* Устройство для сборки осесимметричных деталей на базе манипулятора с параллельной кинематикой // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2011. №8. С. 3-15.
9. *Кузнецова С.В., Симаков А.Л., Кабаева О.Н.* Проектирование и исследование средства автоматизации сборочной операции // Автоматизация в промышленности, 2019. №11. С. 47-51.

*Кузнецова Светлана Владимировна — канд. техн. наук, доцент кафедры “Приборостроение”,
Симаков Александр Леонидович — д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой “Приборостроение”,
Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева.
Контактный телефон 8-904-654-83-02.
E-mail: svkuznecova@gmail.com*

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

по электронному каталогу "Почта России" ФГУП Почта России - подписной индекс **П7753**

• сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакцию

Адрес редакции: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (495) 334-91-30, (926)212-60-97. E-mail: info@avtprom.ru