

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРОЧНОЙ ОПЕРАЦИИ

С.В. Кузнецова, А.Л. Симаков, О.Н. Кабаева

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

Предложена конструкция устройства для сборки деталей. Устройство является средством автоматизации сборочной операции осесимметричных соединений с зазором. Главным элементом конструкции является система параллельных кинематических цепей, образующая линейчатую поверхность однополостного гиперboloида. Устройство обеспечивает уменьшение рассогласования в расположении собираемых деталей и их сопряжение за счет наложения подвижных геометрических связей. Получены соотношения, связывающие геометрические параметры собираемых деталей и сборочного устройства. Экспериментально подтверждена работоспособность сборочного устройства.

Ключевые слова: автоматизация, адаптация соединяемых деталей, расчет параметров, устройство для сборки, сборочная операция, соединение с зазором, экспериментальный образец.

Введение

В настоящее время сборочные операции автоматизированы всего на 5...12% [1], несмотря на предпосылки, среди которых особо следует выделить следующие:

— высокая трудоемкость сборки, достигающая 35% от трудоемкости изготовления изделий машиностроения;

— большое число (до 40%) типовых соединений (например, по цилиндрическим и коническим поверхностям, резьбовых, по плоскостям), не требующих высокой квалификации работников и отличающихся высокой монотонностью труда и повторяемостью рабочих движений;

— зависимость производительности труда и качества сборки от субъективного человеческого фактора и др.

Вопросы автоматизации сборки рассматриваются в работах Базрова Б. М., Гусева А. А., Замятина В. К., Житникова Ю. З., Лебедевского М. С., Федотова А. И., Ямпольского Л. С., Яхимовича В. А. и др.

Автоматизация сборочных операций связана со значительными трудностями из-за сложности точного осевого (1...200 мкм) и углового совмещения сопрягаемых деталей в сборочном оборудовании [2]. Подходы к решению могут быть следующие.

В первом случае прибегают к применению сложных и дорогостоящих сборочных робототехнических комплексов, оснащенных средствами осязательного [3, 4, 5] (системой технического зрения, датчиками сил и моментов) и обладающих высокой точностью позиционирования соединяемой детали. Однако даже при этом не исключена неопределенность в расположении и/или ориентации другой (базовой) детали, которая с некоторой погрешностью может быть расположена или установлена в различном вспомогательном сборочном оборудовании (в захвате, в базировании, на конвейере и пр.).

Второй подход предполагает использование простых технических решений — специализированных средств, назначение которых заключается в устранении неопределенностей в расположении соединяемых деталей за счет их совместного базирования относительно одного сборочного приспособления. Именно этот прием реализован в предлагаемом устройстве автоматизированной сборки.

Постановка задачи

Собираемые детали типа “вал-втулка” поступают на позицию сборки со значительным рассогласованием, соизмеримым с их диаметром. Сборочное устройство должно обеспечивать уменьшение рассогласования в расположении собираемых деталей и их сопряжение. Устройство должно использоваться в сборочном оборудовании, рабочий орган которого совершает возвратно-поступательные движения. Требуется разработать конструкцию устройства для автоматизированной сборки типовых осесимметричных соединений.

В работе описан подход к проектированию данного устройства автоматизированной сборки деталей для класса собираемых деталей “вал-втулка”. Приведены результаты экспериментальной проверки работоспособности предлагаемого сборочного устройства.

Адаптация деталей при автоматизированной сборке

Для решения задачи автоматизированной сборки необходимо создание специальных средств, осуществляющих адаптацию соединяемых деталей. Адаптация [6] — это целенаправленное перемещение детали по траектории совмещения, характеризующееся уменьшением рассогласования между сопрягаемыми поверхностями деталей в процессе сборки. Адаптировать (приспособить, ориентировать, корректировать, перемещать в направлении уменьшения линейных

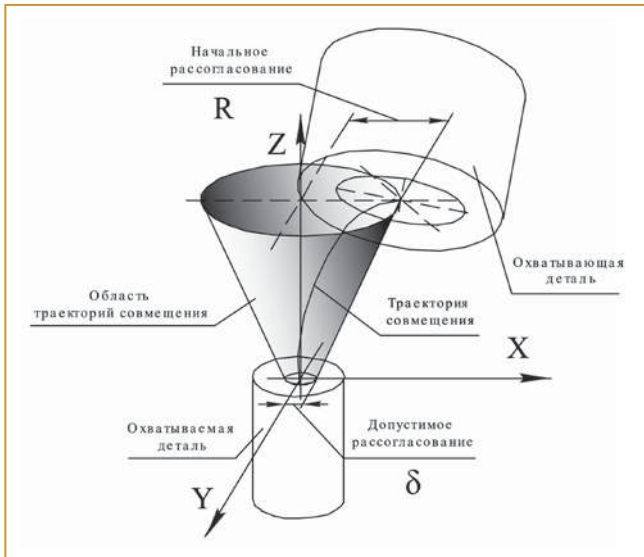


Рис. 1. Область траекторий совмещения деталей при автоматизированной сборке

и угловых рассогласований до значений в пределах допусков, подготовить к сопряжению) соединяемые детали в процессе сборочной операции — это наиболее сложная задача, которая должна быть решена в устройстве автоматизированной сборки.

Известно [7], что область траекторий совмещения деталей при автоматизированной сборке может быть схематически представлена в виде перевернутого усеченного конуса (рис. 1). Широкое основание конуса соответствует начальному рассогласованию деталей при сборке, узкое — допустимому рассогласованию, определяемому условиями собираемости [8]. Поверхность конуса ограничивает семейство траекторий совмещения. Таким образом, сборочное устройство должно формировать ограничения на перемещения соединяемых деталей областью “конуса” и обеспечивать управление их движением в направлении уменьшения рассогласования между сопрягаемыми поверхностями.

Описание конструкции устройства автоматизированной сборки деталей

Предлагаемое устройство является средством автоматизации технологических процессов сборки осесимметричных деталей, сопрягаемых с зазором по цилиндрическим или коническим поверхностям.

Устройство реализует ограничения на перемещения для каждой из соединяемых деталей в виде направляющих поверхностей (они же будут и базисными для обеих деталей) формируются системой подвижных параллельных кинематических цепей. Подвижные звенья конструкции образуют однополостный гиперболоид вращения. Данная геометрическая форма приближенно объединяет две области: “верхний конус” — для одной соединяемой детали и “нижний конус” — для другой.

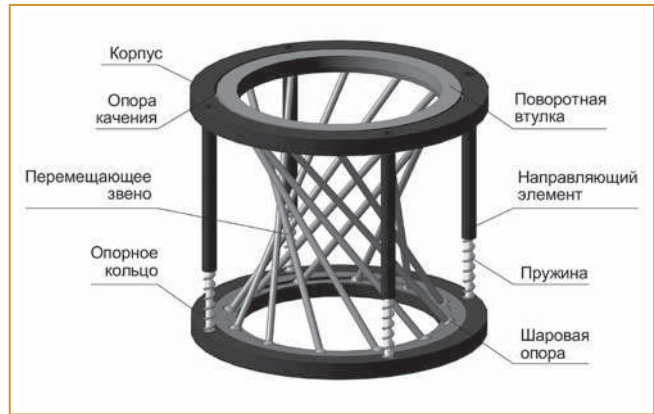


Рис. 2. Устройство автоматизированной сборки деталей

Трехмерная модель конструкции устройства представлена на рис. 2. Собираемые детали на рисунке не показаны. Устройство содержит следующие конструктивные элементы: опорное кольцо, перемещающие звенья в форме стержней, направляющие с пружинами, корпус с установленной в нем опорой качения, на которой базируется поворотная втулка. Внутри поворотной втулки может располагаться питатель деталей. Привод устройства обеспечивается рабочим органом пресса, совершающего вертикальное возвратно-поступательное движение. Возможен вариант, предусматривающий вращательное перемещение, создаваемое двигателем, выходной вал которого, может быть связан с поворотной втулкой.

Работа сборочного устройства осуществляется следующим образом. Устройство находится в верхнем положении. Базовая деталь подается в зону сборочной операции. Подвижные звенья конструкции образуют однополостный гиперболоид вращения. Данная геометрическая форма приближенно объединяет две области: “верхний конус” — для одной соединяемой детали и “нижний конус” — для другой.

Работа сборочного устройства осуществляется следующим образом. Устройство находится в верхнем положении. Базовая деталь подается в зону сборочной операции.

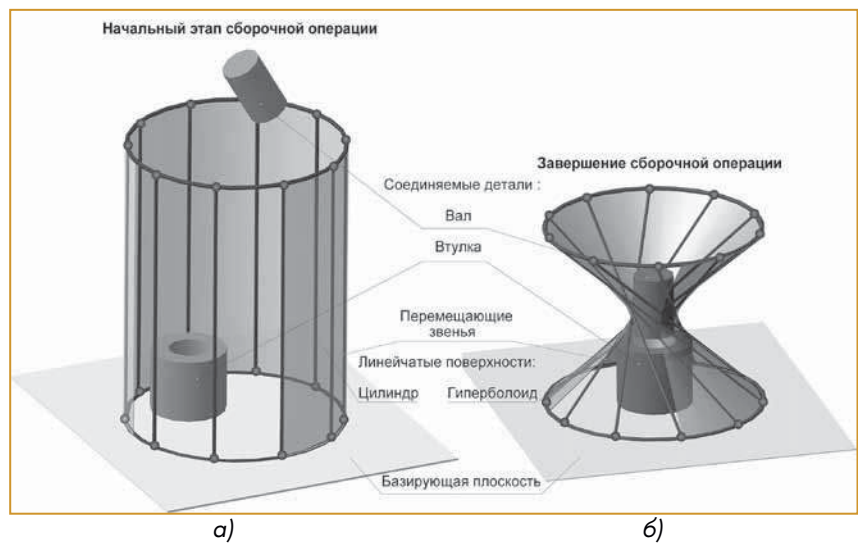


Рис. 3. Этапы функционирования устройства для автоматизированной сборки цилиндрических деталей:

- а) начальный этап сборочной операции;
- б) завершающий этап сборочной операции

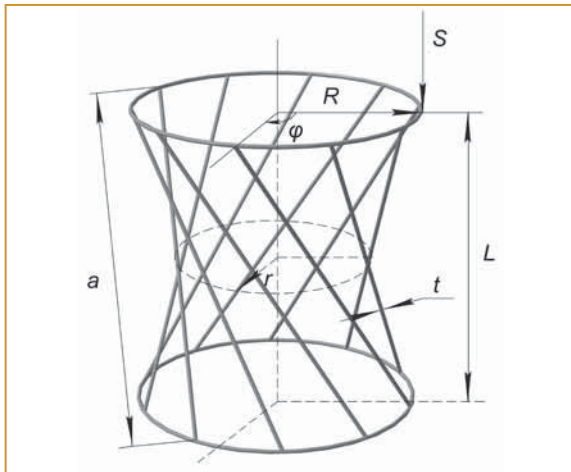


Рис. 4. Геометрический анализ системы перемещающих звеньев устройства для автоматизированной сборки

позиции каким-либо транспортирующим устройством. Ее ориентация определяется базирующей поверхностью (плоскостью на которой будет размещаться нижняя деталь), а начальное смещение не должно превышать разности внутреннего диаметра опорного кольца и максимального диаметра базовой детали. Основные состояния устройства в зависимости от этапа сборочной операции наглядно продемонстрированы на рис. 3.

Устройство опускается до контакта опорного кольца с базирующей поверхностью, при этом базовая деталь оказывается внутри цилиндрической поверхности, образованной перемещающими звеньями (рис. 3,а). При дальнейшем движении рабочего органа (пресса) происходит вращение поворотной втулки и движение перемещающих звеньев, которые будут стремиться образовать форму, приближенную к однополостному гиперboloиду (рис. 3,б), постепенно вступая в контакт с базовой деталью и центрируя ее. Затем сверху из питателя подается соединяемая деталь. Размеры устройства выбираются таким образом, чтобы горловое (наименьшее поперечное) сечение гиперboloида выполняло роль направляющей поверхности для соединяемой детали. Окончательный этап сборочного процесса реализуется при обратном движении рабочего органа: происходит освобождение соединяемой детали, и она под действием силы тяжести устанавливается на сопрягаемую поверхность базовой детали. Устройство поднимается и собранный узел удаляется.

Предлагаемое устройство обеспечивает уменьшение рассогласования в расположении собираемых деталей и их сопряжение за счет наложения подвижных геометрических связей [9].

Проектирование устройства автоматизированной сборки деталей

Главной особенностью конструкции является система перемещающих звеньев стержневой формы, образующих однополостный гиперboloид вращения (рис. 4).

При фиксированной величине радиусов оснований R и длин стержней a параметры гиперboloида (ра-

диус горлового сечения r , высота L) могут изменяться в зависимости от угла разворота φ оснований вокруг продольной оси друг относительно друга (или от величины вертикального смещения S верхнего основания). Зависимости высоты гиперboloида L и площади F его горлового сечения от угла φ имеют вид:

$$L = R \sqrt{\left(\frac{a}{R}\right)^2 + 2(\cos \varphi - 1)}; \quad (1)$$

$$F = \pi r^2 = \frac{1}{\left(\frac{1 - \cos \varphi}{\sin \varphi}\right)^2 + 1} \pi R^2. \quad (2)$$

Выражения (1), (2) могут быть использованы при разработке алгоритма управления движением рабочего органа сборочного оборудования.

Исходными данными для расчета конструкции устройства являются геометрические характеристики собираемых цилиндрических деталей: D — наружный диаметр втулки; H — высота втулки; d — диаметр вала; h — высота вала. Для удобства представим исходные данные в относительных величинах:

- величина, характеризующая тонкостенность охватываемой детали:

$$K_d = \frac{d}{D};$$

- величина, характеризующая габариты охватываемой детали:

$$K_H = \frac{H}{D};$$

- величина, характеризующая отношения высот собираемых деталей (охватываемой и охватываемой деталей):

$$q = \frac{h}{H}.$$

Результатами расчета являются соотношения, связывающие геометрические параметры собираемых деталей и сборочного устройства: R — радиус оснований устройства; a — длина перемещающих звеньев; ρ — относительный радиус устройства; ε_k — конечная величина относительного перемещения рабочего органа сборочного оборудования. При рассмотрении модели сборочного устройства было введено следующее допущение: принять толщину стержней t равной нулю ($t = 0$), а сами стержни считать жесткими не деформируемыми отрезками прямых.

Методика расчета геометрических параметров сборочного механизма заключается в анализе конечного положения конструкции при фиксации втулки.

Исходные данные: D, K_d, K_H, q, t . Результаты: $R, a, \rho, \varepsilon_k$.

Ниже приведены основные соотношения, связывающие геометрические параметры сборочного устройства и собираемых деталей:

$$R = K_r D, \text{ где } K_r = \frac{R}{D} = \frac{1}{2q} \sqrt{(2+q)^2(1-K_d^2) + K_d^2 q^2}; \quad (3)$$

$$a = K_a D, \text{ где } K_a = \frac{a}{D} = \frac{2+q}{q} \sqrt{q^2 K_H^2 + 1 - K_d^2}; \quad (4)$$

$$\rho = \frac{R}{a} = \frac{K_R}{K_a}; \quad (5)$$

$$\varepsilon_k = \frac{S}{a} = 1 - \frac{K_H q}{2\sqrt{q^2 K_H^2 + 1 - K_d^2}}. \quad (6)$$

Приведенные в методике соотношения (3) — (6) могут быть полезны при проведении кинематического анализа устройства, в результате которого могут быть найдены экстремальные значения координат движения точек звеньев механизма, их скоростей и ускорений, что, возможно, наложит свои ограничения на условия сборки. Дальнейшие исследования могут быть нацелены на уточнение соотношений при переходе от идеальной стержневой конструкции ($t = 0$, неопределенность числа звеньев) к реальной. Варьирование геометрическими характеристиками элементов устройства позволяет создать конструкцию в полной мере соответствующую геометрическим параметрам собираемых деталей.

Экспериментальная проверка работоспособности устройства автоматизированной сборки деталей

Для экспериментальной проверки работоспособности предлагаемого инженерного решения было спроектировано и построено устройство автоматизированной сборки деталей (рис. 5). В конструкции сборочного устройства используются отечественные комплектующие и детали, не требующие высокой точности обработки

Экспериментальная установка включает: устройство автоматизированной сборки деталей, соединя-

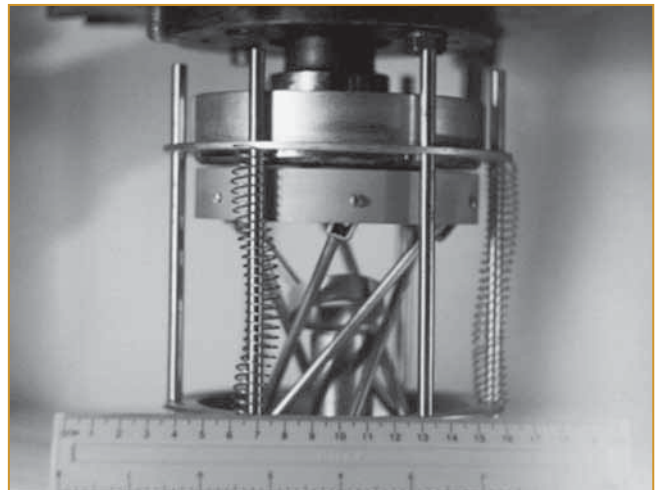


Рис. 5. Экспериментальная установка для автоматизированной сборки типовых соединений

емые детали (вал и втулка), средство вертикального перемещения (рабочий орган — пресс).

Целью исследований является:

- проверка работоспособности сборочного устройства;
- определение влияния на собираемость деталей скорости перемещения рабочего органа и величины зазора в соединении.

Условия проведения испытаний: место проведения — кафедра “Приборостроение” ФГБОУ ВО “КГТА им. В. А. Дегтярева” (г. Ковров); число собираемых узлов — 50 ед.

Характеристики сборочного устройства, параметры собираемых деталей (образующих гладкое цилиндрическое соединение с зазором), режимы работы сборочного оборудования, результаты лабораторных испытаний устройства для удобства сведены в таблицу.

Таблица. Экспериментальные исследования устройства для сборки деталей типа “вал-втулка”

| Характеристики экспериментальной установки | | | | | |
|---|------------|--|-------------------------------------|--|----------------------|
| Параметры сборочного устройства | | | Параметры соединяемых деталей | | |
| Наименование, единицы измерения | Параметр | Значение | Наименование, единицы измерения | Параметр | Значение |
| Радиус основания устройства, мм | R | 35 | Диаметр вала, мм | d | $27_{-0,19}^{-0,03}$ |
| Диаметр перемещающих стержней, мм | t | 3,5 | | | |
| Длина перемещающих стержней, мм | a | 140 | Внутренний диаметр втулки, мм | D_0 | $27_{+0,12}^{+0,24}$ |
| Минимальная высота горлового сечения, мм | $0,5 L$ | 50 | | | |
| Внутренний диаметр горлового сечения, мм | r | 11,5 | Наружный диаметр втулки, мм | D | $43h12$ |
| Максимальное линейное перемещение поворотной втулки, мм | S | 45 | Длина участка сопряжения вала, мм | h | 21 |
| Угол поворота устройства, град. | φ | 45 | Длина участка сопряжения втулки, мм | H | 6 |
| Число перемещающих стержней | n | 6 | | | |
| Режимы работы рабочего органа | | | | | |
| Скорость вертикального перемещения | $V=2$ мм/с | | | | |
| | $V=5$ мм/с | | | | |
| Результаты экспериментов | | | | | |
| Длительность процесса сборки деталей, с | | Максимальное начальное рассогласование, мм | | Процент собранных узлов (в среднем), % | |
| 2,6 ... 3 | | 18 | | 78 | |

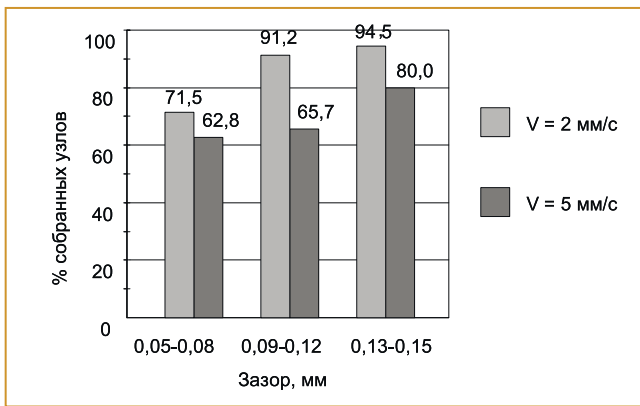


Рис. 6. Результаты лабораторных испытаний сборочного устройства

Результаты испытаний сборочного устройства приведены на диаграмме (рис. 6). Как следует из диаграммы, процент совмещения деталей зависит от скорости перемещения рабочего органа и значения зазора.

Причина некоторых неудачных исходов сборочной операции заключается в неопределенности начальной угловой ориентации верхней присоединяемой детали. Приведем некоторые обстоятельства, способные изменить угловую ориентацию детали: 1) верхняя соединяемая деталь подавалась на сборочную позицию в режиме свободного падения; 2) в некоторых случаях наблюдалось явление отскока верхней детали; 3) влияние сил трения при обратном ходе устройства между подвижными звеньями и верхней деталью. Снизить вариации угловой ориентации верхней детали перед сопряжением (в момент охвата нижней детали) возможно, если ввести в конструкцию элемент поджима верхней детали.

Таким образом, экспериментально подтверждена работоспособность и эффективность предложенного устройства для автоматизации сборочной операции.

Также было установлено, что за счет высокого уровня повторяемости сборочных движений повышается качество сборки, поскольку уменьшаются ошибки оператора-сборщика.

Исследования проводились в рамках г/б НИР № 118/18 “Моделирование, анализ и синтез средств автоматизации производственных процессов и технологического оборудования”. На данное устройство для автоматизированной сборки деталей был получен патент (№ 191351 РФ, МПК7 В23 Р 19/10 от 21.05.2019 г.).

Заключение

Таким образом, предлагаемое устройство может применяться в качестве средства автоматизации сборочной операции цилиндрических, конических осесимметричных соединений с зазором, в том чис-

ле упругих элементов. Устройство характеризуется простой и надежной конструкцией, удобной в эксплуатации. Переменная структура подвижных звеньев устройства обеспечивает легкость в переналадке на другой типоразмер изделия. Высокий уровень повторяемости сборочных движений снижает вероятность ошибки оператора-сборщика, что положительно сказывается на качестве сборки. Устройство может являться частью сборочной машины или использоваться в качестве рабочего инструмента сборочного робота. В последнем случае исключается необходимость в оснащении сборочного робота дорогостоящими измерительными средствами для определения рассогласований между соединяемыми деталями.

Для предлагаемого средства автоматизации выявлены соотношения, связывающие геометрические параметры собираемых деталей и сборочного устройства, что позволяет спроектировать конструкцию для изделий различной номенклатуры. Работоспособность предлагаемого устройства подтверждена экспериментально.

Список литературы

1. Житников Ю.З., Симаков А.Л., Воркуев Д.С., Схиртладзе А.Г. Автоматизация технологических и производственных процессов в машиностроении. Изготовление деталей и сборка изделий. Уч. пособие. Старый Оскол. 2019. 420 с.
2. Бедрин В.М., Бедрина А.В. Обзор методов и устройств автоматического ориентирования деталей при сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2000. № 2. С. 7-21.
3. Козырев Ю.Г. Устройства корректировки положения сопрягаемых деталей при сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. №12. С. 17-21.
4. Vartanov M.V., Arkhipov M.V., Petrov V.K., Mishchenko R.S. Active adaptation in robotic assembly // Russian engineering research. Allerton Press, Inc. (New York). 2017. V. 3. № 9. P. 814-816.
5. Hui X., Ligu C., Lining S., Weibin R. Hybrid vision-force control for automatic assembly of miniaturized gear system // Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation 2005. V. 2005. P. 1368-1373.
6. Симаков А.Л. Обоснование границ применимости методов адаптации для автоматизированной сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2001. № 3. С. 14-16.
7. Симаков А.Л., Симаков Д.А. Согласование этапов ориентации присоединяемой детали при движении по поисковой программной траектории совмещения // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 6. С. 20-22.
8. Гусев А.А. Адаптивные устройства сборочных машин. М.: Машиностроение, 1979. 208 с.
9. Кузнецова С.В., Симаков А.Л. Основы синтеза средств адаптации деталей с учетом принципа наименьшего принуждения // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2019. № 7.

Кузнецова Светлана Владимировна — канд. техн. наук, доцент,
 Симаков Александр Леонидович — д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой “Приборостроение”,
 Кабаева Ольга Николаевна — канд. техн. наук, доцент,
 кафедра “Приборостроение” Ковровской государственной технологической академии им. В.А. Дегтярева”.
 Контактный телефон 8-904-654-83-02.
 E-mail: svkyzniecova@gmail.com