

М 352795

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

БАХРИН Леонид Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ
С ПАЗОВЫМИ СОПРЯЖЕНИЯМИ

Специальность 05.02.07

Автоматизация в машиностроении

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Б.А. УСОВ

Официальные оппоненты- Заслуженный деятель науки и
техники РСФСР, доктор техни-
ческих наук, профессор
В.С. КОРСАКОВ

- кандидат технических наук,
доцент А.А. ГУСЕВ

Ведущее предприятие - производственное объединение
"Дизельаппаратура", г.Ярославль

Защита диссертации состоится "_____" 1979 г.
на заседании специализированного Совета по автоматизации и
машиностроению МВТУ им. Н.Э. Баумана, шифр К053.15.01, по
г. Б. Бауманская ул., дом 5.

библиотеке МВТУ имени

темплярах, заверенные
ному адресу.

____ 1979 г.

М 352795

Г.Н. Мельников

ем I п.л. Тир. 100 экз.
я Бауманская ул., д. 5

Актуальность темы. Сборка является заключительным и определяющим этапом производственного процесса в машиностроении. От сборки во многом зависит качество продукции и ее выпуск в заданные плановые сроки. По уровню и темпам механизации и автоматизации сборочное производство отстает от механических и заготовительных цехов. Это приводит к тому, что относительная трудоемкость сборочных процессов и количество сборщиков во времени непрерывно возрастают.

С целью ускорения прогресса в области сборки изделий машиностроения, наряду с улучшением технологичности конструкций, унификацией сборочных единиц и деталей, совершенствованием технологии и организации сборочных процессов, одной из важных задач автоматизации сборки является разработка методов проектирования автоматических сборочных машин.

В настоящее время в машиностроении и приборостроении наиболее широко распространены соединения деталей с сопряжениями по гладким цилиндрическим поверхностям и по цилиндрическим поверхностям с элементами крепления / шпоночные, шлицевые, резьбовые, штыковые и др. /. Для этих соединений имеются теоретические исследования и опытные разработки средств автоматической сборки. Для некоторых видов соединений с такими сопряжениями созданы типовые автоматические сборочные машины.

Также широко распространены в промышленности соединения деталей с сопряжениями по нецилиндрическим поверхностям, сопрягаемые элементы которых представляют из себя прямые призмы или комбинацию прямых призм с частями цилиндра. Для этих соединений почти нет исследований по автоматизации их сборки. Отставание в исследованиях по созданию автоматических машин для соединения деталей с этими сопряжениями частично объясняется определенными трудностями, возникающими при первичной и взаимной ориентации деталей, которая, как известно, является основным звеном в автоматизации сборочного процесса. При увеличении сборки на автоматизированном оборудовании это будет сдерживать общий процесс автоматизации сборки изделий.

Для дальнейшего развития и создания единой научной теории по проектированию автоматических сборочных машин весьма актуальной задачей является проведение теоретических и эксперимен-

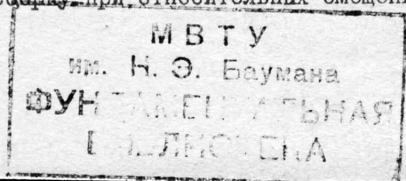
тальных исследований по автоматизации сборки соединений деталей с пазовыми сопряжениями с целью разработки методических и справочных материалов по расчету и конструированию механизмов и машин.

Цель исследования. Изучить физическую сущность процесса сборки соединений деталей с пазовыми сопряжениями, разработать с возможно меньшим числом звеньев и приводов исполнительные механизмы и методики определения их конструктивных и точностных параметров, произвести уточнение и дальнейшую разработку методов расчета на точность автоматического сборочного оборудования, создать алгоритм системы программного управления для автоматической сборочной машины.

Методы исследований. В работе применялись теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования базируются на элементах высшей математики, теоретической механики, сопротивления материалов, теории автоматического управления и научных основ автоматизации сборочных процессов с применением для расчетов современных ЭЦВМ. Они подтверждены экспериментальными, которые проводились на специально разработанной и изготовленной установке и опытных образцах исполнительных механизмов с использованием современной контрольно-регистрирующей аппаратуры.

Научная новизна. Получены математические зависимости условий собираемости деталей и составлен алгоритм для ЭЦВМ по расчету допустимых пространственных отклонений относительного расположения деталей с учетом шести степеней свободы при различных способах базирования. Разработана методика расчета автоматической сборочной машины на точность, методика определения конструктивных и точностных параметров механизмов взаимной ориентации, методика выбора способа и механизма взаимной ориентации на стадии проектирования расчетным путем. Синтезирована оптимальная система программного управления и получен алгоритм системы, позволяющий перейти к проектированию автоматической сборочной машины с использованием ЭВМ.

Практическая ценность. Разработанные методы и полученные зависимости позволяют подготовить методические и справочные материалы по проектированию автоматических сборочных машин. Предложены конструкции компенсационных механизмов взаимной ориентации, которые производят сборку при относительных смещениях



и углах поворота деталей, значительно превышающих допустимые по условиям собираемости. Разработаны конструкции механизмов вторичной ориентации собираемых деталей во время подачи их на рабочую позицию.

Реализация работы. Результаты работы внедрены в производство. Конструктивные разработки и методики расчета при проектировании автоматических сборочных машин переданы Ярославскому заводу дизельной аппаратуры. Разработана конструкция машины для автоматической сборки элементов коронирующего электрода на Семибратовском экспериментальном заводе газоочистительной аппаратуры. Суммарный годовой экономический эффект составляет 25300 рублей.

Апробация работы. Результаты исследования доложены и обсуждены на научно-технической конференции автозавода им. И.А.Лихачева и НИИГавтопрома / 1978г. /, на научном семинаре кафедры "Технология машиностроения" Ярославского политехнического института /1979г./ . Полностью работа доложена на кафедре "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им.Н.Э. Баумана / 1978г. /.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 7 печатных работах, включая 2 авторских свидетельства на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения, изложенных на 253 страницах. Содержит 146 страниц основного текста, 109 рисунков, 11 таблиц и список литературы из 130 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе "Анализ объектов исследования и работ по проектированию автоматических сборочных машин" проведен анализ современного состояния теории и практики автоматизации сборочных процессов. Отмечено, что средний уровень механизации в нашей стране достигает 25%, а автоматизации около 6%. Научно обоснованных путей и методов автоматизации сборочных работ ни у нас, ни за рубежом еще не разработано. Исследования в этой области ведутся, однако еще узким фронтом, по отдельным отраслям машиностроения. При проектировании автоматического сбороч-

ного оборудования особую значимость приобретают научные основы автоматизации сборочных процессов. Их разработка тесно связана с глубоким и всесторонним изучением физической сущности процессов в целях выявления основных закономерностей их протекания и эффективного управления ими.

В настоящее время нет единой научной теории по проектированию автоматических сборочных машин. Имеются отдельные теоретические исследования по автоматизации сборки соединений деталей, сопрягаемых по гладким цилиндрическим поверхностям, по цилиндрическим поверхностям с элементами крепления, по винтовым и плоским поверхностям с закреплением собираемых деталей при помощи пайки, сварки, клепки, склеивания, развальцовки, запрессовки и метизов.

Наиболее обобщающими работами в этой области являются труды В.С.Корсакова, А.Н.Малова, А.Н.Рабиновича, М.П.Новикова, П.И.Буловского, В.В.Косилова, К.Я.Муценека, З.А.Ахимовича, И.С.Лебедевского, А.А.Гусева и др. Вопросы автоматизации сборки деталей, сопрягаемых по нецилиндрическим поверхностям встречаются в работах А.Г.Герасимова, В.Д.Молодкина, Я.К.Попса, А.С.Храброва.

Имеющиеся в литературных источниках отдельные исследования не решают проблему автоматизации сборки соединений деталей с пазовыми сопряжениями. При необходимости автоматизации сборка таких соединений в настоящее время производится только роботами.

В работе дана классификация соединений деталей с пазовыми сопряжениями и способов их закрепления. Сборка таких соединений может производиться в зависимости от зазоров соединения любым из трех способов: жесткое, упругое и подвижное базирование.

Показано, что перед соединением деталей необходимо ориентировать по трем координатам в отличие от цилиндрических сопряжений, где ориентация деталей требуется только по двум координатам для гладких цилиндрических поверхностей, или сначала по двум, а затем по третьей — для цилиндрических поверхностей с элементами крепления.

Проведен анализ методов расчета при проектировании автоматической сборочной машины. Установлено, что основным расчетом является точностной, который заключается в определении оптимальной точности изготовления и работы машины. Точность автоматической сборочной машины определяется точностью взаимной

ориентации деталей перед соединением, точностью относительного расположения деталей после соединения и точностью закрепления деталей. В результате точностного расчета определяются допустимые отклонения смещений и углов поворота установочных баз исполнительных механизмов в зависимости от размеров сопрягаемых элементов и точности изготовления собираемых деталей. Эти отклонения затем корректируются с учетом допусков на силовые деформации и износ, которые с течением времени увеличиваются, уменьшая расчетные допуски.

Учитывая трудность взаимной ориентации деталей при рассматриваемых соединениях, установлено, что для этих целей весьма перспективными являются работы по созданию автоматических сборочных машин с программным управлением.

На основе проведенного анализа поставлены следующие задачи исследования:

1. Систематизировать существующие и выявить новые методы автоматической сборки применительно к соединениям деталей с пазовыми сопряжениями.

2. Определить математические зависимости условий собираемости деталей и составить алгоритм для ЭВМ по расчету допустимых пространственных отклонений относительного смещения деталей, необходимых для расчета оборудования на точность.

3. Разработать методику расчета на точность при проектировании автоматической сборочной машины.

4. Исследовать и разработать исполнительные механизмы, обеспечивающие автоматическую сборку при различных видах сопряжений и при наличии несущественных отклонений собираемых деталей.

5. Разработать методику расчета параметров исполнительных механизмов автоматической сборочной машины.

6. Разработать методику выбора способа и механизма сборки с применением точностных расчетов.

7. Синтезировать алгоритмы автоматической сборочной машины, работающей по способу программного управления.

Во второй главе "Исследования по расчету автоматического сборочного оборудования на точность" рассмотрены вопросы определения условий собираемости деталей.

Указано, что в работах А.Г.Герасимова, Я.К.Понса, В.Д.Молодкина при определении условий собираемости деталей нецилиндрической формы в поперечном сечении пространственная задача с

точностью до второго порядка малости сведена к плоской. В полученных математических зависимостях нет взаимосвязи всех размеров сопрягаемых элементов, допустимых смещений и углов поворота деталей, что ограничивает применение этих формул. Кроме этого условия собираемости определены только на первоначальную совместимость деталей.

При расчете на точность исполнительных механизмов взаимной ориентации необходимо знать условия собираемости по первоначальной совместимости деталей, необходимые для расчета механизмов, работающих по способу упругого базирования, и по относительному расположению деталей, необходимые для расчета механизмов, работающих по способу жесткого базирования.

Деталь, вставленная в пазовое отверстие, при наличии зазоров может смещаться и поворачиваться в пространстве относительно пазовой детали в пределах минимальных зазоров. Условие собираемости по относительному расположению деталей в общем виде определяется выражением

$$\bar{\Delta} \leq \bar{\Delta}_c - \bar{\Delta}\Psi, \quad (I)$$

где $\bar{\Delta}_c$ — вектор допустимого отклонения по условиям собираемости при взаимном смещении и повороте деталей, $\bar{\Delta}$ — вектор погрешности относительного расположения, определяемый всеми возможными смещениями деталей в пространстве, $\bar{\Delta}\Psi$ — вектор погрешности относительного расположения, определяемый всеми возможными поворотами деталей в пространстве.

Считаем, что пазовая деталь неподвижна, а планка может поворачиваться и смещаться в пространстве в трех направлениях относительно пазовой детали при наличии зазоров, которые определяют вектор $\bar{\Delta}_c$. Значения этого вектора по координатным осям для пазовых сопряжений с плоскими поверхностями запишутся выражениями

$$\Delta_{cx} = \ell_n - \ell_d, \quad \Delta_{cy} = t_n - t_d^i, \quad \Delta_{cz} = h_n - h_d,$$

где ℓ_n , t_n , h_n — минимальные размеры пазового отверстия; ℓ_d , h_d — максимальные размеры планки; t_d^i — расчетный размер, определяемый высотой планки от точки касания с передним торцом паза до торца планки, который вошел в паз.

Для пазовых сопряжений с комбинированными поверхностями значения вектора $\bar{\Delta}_c$ в координатной форме определяются формулами

$$\Delta_{cx} = \ell_n + 2R_n - \ell_d - 2R_d, \Delta_{cy} = t_n - t'_n, \Delta_{cz} = 2R_n - 2R_d, \quad (3)$$

где R_n — минимальный радиус закругления паза; R_d — максимальный радиус закругления планки.

Вектор погрешности $\Delta\vec{\Psi}$ определяется методом преобразования декартовых прямоугольных координат при повороте и смещении системы координат, связанной с планкой, относительно системы, связанной с пазовой деталью.

После замены направляющих косинусов через углы поворота $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$ вокруг соответствующих координатных осей X, Y, Z и определения вектора $\Delta\vec{\Psi}$ условие собираемости (I), например, для сопряжения с глухим пазом с сопряжением по плоским поверхностям /условное обозначение $G\ell th$ / запишется системой

$$\begin{cases} \Delta x \leq \ell_n - \ell_d \cos \Delta\beta \cos \Delta\gamma - t'_n \cos \Delta\beta \sin \Delta\gamma - h_n \sin \Delta\beta \cos \Delta\gamma, \\ \Delta y \leq t_n - t'_n \cos \Delta\alpha \cos \Delta\gamma, \\ \Delta z \leq h_n - \ell_d \cos \Delta\alpha \sin \Delta\beta - t'_n \sin \Delta\alpha \cos \Delta\beta - h_n \cos \Delta\alpha \cos \Delta\beta, \end{cases} \quad (4)$$

а для соединения с глухим пазом с сопряжением по комбинированным поверхностям /условное обозначение $G\ell tR$ / системой

$$\begin{cases} \Delta x \leq \ell_n + 2R_n - (2R_n + \ell_n \cos \Delta\beta) \cos \Delta\gamma - t'_n \cos \Delta\beta \sin \Delta\gamma - \ell_n \sin \Delta\beta \cos \Delta\gamma, \\ \Delta y \leq t_n - t'_n \cos \Delta\alpha \cos \Delta\gamma, \\ \Delta z \leq 2R_n - \ell_n \cos \Delta\alpha \sin \Delta\beta - t'_n \sin \Delta\alpha \cos \Delta\beta - 2R_n \cos \Delta\alpha. \end{cases} \quad (5)$$

Из полученных условий собираемости выводятся условия собираемости по первоначальной совместимости, при которых происходит первоначальный контакт сопрягаемых поверхностей, обеспечивающий дальнейшую взаимную ориентацию за счет подвижности баз. Первоначальный контакт сопрягаемых поверхностей происходит при совмещении торцов паза и планки и относительном повороте их. Планка входит в паз только своими некоторыми углами и, следовательно, $t'_n = 0$. При этом условии второе уравнение системы (4) примет вид

$$t'_n = \ell_n \operatorname{tg} \Delta\gamma + h_n \operatorname{tg} \Delta\alpha, \quad (6)$$

а системы (5)

$$t'_n = (\ell_n + 2R_n) \operatorname{tg} \Delta\gamma + R_n (\sin \Delta\alpha + \sqrt{\sin^2 \Delta\alpha + \operatorname{tg}^2 \Delta\gamma} - \operatorname{tg} \Delta\gamma) / \cos \Delta\alpha. \quad (7)$$

Подобными преобразованиями получены условия собираемости деталей по относительному расположению и по первоначальному совмещению для всех одиннадцати видов соединений деталей с пазовыми сопряжениями, классифицированных в работе. Как частный случай из них получаются условия собираемости соединений деталей с цилиндрическими сопряжениями, которые полностью совпадают с приведенными в соответствующей литературе.

На основе математических зависимостей условий собираемости разработан методика расчета автоматической сборочной машины на точность. Для этого полученные формулы вида (4) и (5) преобразованы в системы с явно выраженными допустимыми углами поворота. При расчете задаются смещениями установочных баз исполнительных механизмов $\Delta x^M, \Delta y^M, \Delta z^M$, исходя из норм точности автоматических сборочных машин или из экономических соображений. Определяем и рассчитываем статистическими методами погрешности $\Delta \alpha_d, \Delta \beta_d, \Delta \gamma_d, \Delta x^A, \Delta y^A, \Delta z^A$ расположения сопрягаемых элементов относительно базовых, полученных при изготовлении собираемых деталей. Рассчитываем угол $\Delta \beta_{max}$ по полученным для каждого вида соединения формулам. Например, для соединения *Glth*

$$\Delta \beta_{max} = \arccos \frac{h_d(h_d - \Delta z^M - \Delta z^A) + l_d \sqrt{l_d^2 + h_d^2 - (h_d - \Delta z^M - \Delta z^A)^2}}{l_d^2 + h_d^2} \quad (8)$$

при $S_x \geq S_z h_d / l_d$, или при $S_x \leq S_z h_d / l_d$

$$\Delta \beta_{max} = \arccos \frac{l_d(l_d - \Delta x^M - \Delta x^A) + h_d \sqrt{l_d^2 + h_d^2 - (l_d - \Delta x^M - \Delta x^A)^2}}{l_d^2 + h_d^2} \quad (9)$$

Принимаем угол $\Delta \beta$ наименьшим экономически целесообразным для изготовления исполнительных механизмов. Рассчитываем по формулам условий собираемости деталей для соответствующих соединений возможные углы поворота $\Delta \alpha$ и $\Delta \gamma$ при $\Delta x = \Delta x^M + \Delta x^A, \Delta z = \Delta z^M + \Delta z^A, \Delta y = \Delta y^M + \Delta y^A$. Определяем допустимые углы относительного поворота установочных баз исполнительных механизмов по формулам

$$\Delta \alpha_m = \Delta \alpha - \Delta \alpha_d, \Delta \beta_m = \Delta \beta - \Delta \beta_d, \Delta \gamma_m = \Delta \gamma - \Delta \gamma_d. \quad (10)$$

Для расчета норм точности составлен алгоритм для ЭЦВМ, который позволяет рассчитать предельные отклонения установочных баз исполнительных механизмов, работающих как по способу жесткого базирования, так и подвижного, для одиннадцати видов соединений.

В третьей главе "Проектирование и исследование механизмов для взаимной ориентации и соединения деталей" проведен анализ существующих механизмов взаимной ориентации с целью разработки новых конструкций для сборки рассматриваемых соединений деталей.

Отмечено, что при больших зазорах в соединении для всех видов пазовых соединений целесообразно применять механизмы, работающие по способу жесткого базирования. При малых зазорах следует использовать механизмы, работающие по способу упругого базирования /компенсационные механизмы с использованием перекоса осей деталей, направляющих элементов, со снижением противодействующих сопряжению сил трения и др./ и подвижного базирования /сканирующие, программные и адаптивные/.

Для соединений деталей с открытым и полукрытым пазом разработаны механизмы взаимной ориентации с использованием перекоса осей деталей, позволяющие производить ориентацию при пазовой детали с цилиндрической и плоской торцевой поверхностью. Проведены теоретические исследования механизмов и разработана методика определения конструктивных и точностных параметров.

При выводе аналитических зависимостей процесс взаимной ориентации деталей при цилиндрической торцевой поверхности пазовой детали разбивается на три периода. В первый период времени t_1 происходит контакт торцов деталей. При малом смещении паза относительно центра пазовой детали челнок с планками и пазовая деталь начинают поворачиваться, поднимая место контакта вверх. Из уравнения момента, действующего на пазовую деталь, определяется требуемое сборочное усилие

$$P \geq \frac{(Q_2 l_2 + M_{тр.ч} + c z l_3) z \cos \lambda}{l_1 (z \sin \lambda - f_{тр} d_m)}, \quad (II)$$

где l_1, l_2, l_3 - конструктивные размеры механизма; Q_2 - вес челнока с пластинами; $M_{тр.ч}$ - момент трения при повороте челнока; z - радиус пазовой детали; $c z$ - усилие пружины; λ - угол между осью пластины и радиусом пазовой детали, проведенным в точку контакта; $f_{тр}$ - приведенный динамический коэффициент трения подшипника; d_m - средний диаметр подшипника.

Во второй период времени t_2 происходит проскальзывание планки относительно грани паза. Она резко перемещается вниз и западает в паз. Это происходит при угле λ равном углу трения.

В последний период времени t_3 происходит сопряжение деталей. Этот период характеризуется переходным колебательным процессом. Движение планки описывается уравнением

$$J\ddot{\psi} + c\ell^2\dot{\psi} = z_1R_1 \pm R_2\ell_1, \quad (12)$$

где J — момент инерции челнока с планками; ψ — угол поворота челнока; c — жесткость пружины; ℓ, ℓ_1, z_1 — конструктивные размеры механизма; R_1, R_2 — реакции, действующие на планку.

Несколько иначе происходит взаимная ориентация деталей при плоской торцевой поверхности пазовой детали. Отличие наблюдается в первый период времени, поэтому требуемое сборочное усилие в этом случае определяется по-другому.

Для примера рассчитан механизм взаимной ориентации деталей с размерами: $h_n = 2,17$ мм, $h_n = 2,19$ мм, смещение паза относительно центра пазовой детали $\varepsilon = 5$ мм, радиус пазовой детали $r = 42,5$ мм. Полученные основные конструктивные и точностные параметры механизма: наименьшая величина требуемого сборочного усилия 156, Н; угол α относительного перекоса осей планки и отверстия, не более $2^{\circ}57'$; угол β относительного перекоса осей планки и отверстия, не более $+4^{\circ}11'$; допустимая величина угла $\Delta\varphi$ поворота пазовой детали $4^{\circ}23'$; смещение осей деталей при подвижном базировании, не более 5,02 мм, при жестком — $\pm 0,01$ мм. Из этих данных видно, что механизм производит соединение деталей при относительных смещениях и углах поворота значительно превышающих, чем требуются по условиям собираемости.

Для соединения деталей с глухим и сквозным пазом разработан механизм взаимной ориентации с использованием перекоса осей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. При соединении происходит взаимная ориентация деталей сначала в одной плоскости так же как для соединений первой группы. После того, как планка войдет в начальный контакт с пазом одним углом, происходит взаимная ориентация деталей в другой плоскости. При определении параметров этого механизма проведены дополнительные исследования.

Установлено, что при применении сканирования одной из собираемых деталей надежность работы исследованных механизмов увеличивается. При соединении деталей с цилиндрической торцевой поверхностью пазовой детали с применением вибрации планки вокруг оси, параллельной глубине паза, пазовая деталь получает вращение. Для определения текущего значения угла φ поворота ее

выведена формула

$$\varphi = \omega \omega_3 t + \ell_d \beta_0 (1 - \cos 4 \omega_3 t) / 2 \tau, \quad (13)$$

где ω — угловая скорость вращения пазовой детали; ω_3 — частота питающего напряжения; t — время; β_0 — амплитуда угла поворота планки при колебаниях.

В этом случае величина разворота паза относительно планки по условиям собираемости не ограничивается, от ее величины зависит время взаимной ориентации.

Для взаимной ориентации деталей при соединениях с глухим и сквозным пазом с большими размерами сопрягаемых элементов предложена конструкция компенсационного механизма с использованием направляющих элементов.

При проектировании автоматической сборочной машины для конкретного вида пазового соединения необходимо определить способ взаимной ориентации и выбрать конструкцию устройства. Зная требуемые условия собираемости деталей при различных способах взаимной ориентации и обеспечиваемые механизмами, это можно осуществить расчетным путем.

Пользуясь методикой расчета оборудования на точность, по условиям собираемости деталей по относительному расположению для соответствующего вида соединения определяем отклонения $\Delta\alpha_m, \Delta\beta_m, \Delta\gamma_m$. Эти отклонения должны быть больше соответствующих норм точности $[\Delta\alpha_m], [\Delta\beta_m], [\Delta\gamma_m]$, которые определяют допустимые отклонения на изготовление исполнительных механизмов, работающих по способу жесткого базирования. Иначе, переходим к выбору механизмов, работающих по способу упругого и подвижного базирования. По условиям собираемости деталей по первоначальному соемещению также рассчитываем отклонения $\Delta\alpha_m, \Delta\beta_m, \Delta\gamma_m$. Определяем точностные параметры α, β, γ , обеспечиваемые механизмами взаимной ориентации, которые подходят для сборки рассматриваемых соединений. Выбираем механизм взаимной ориентации, удовлетворяющий условию: $\Delta\alpha_m \leq \alpha, \Delta\beta_m \leq \beta, \Delta\gamma_m \leq \gamma$.

В четвертой главе "Экспериментальные исследования по определению параметров механизмов и проверке теоретических выводов" изложена методика проведения экспериментальных исследований, описаны конструкции экспериментальной установки и опытных механизмов, аппаратура для измерения и регистрации результатов экспериментов, приведены результаты экспериментальных исследо-

ваний и их анализ.

Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена специально разработанная установка, состоящая из пневмопривода с датчиками скорости, перемещения и усилия, пульта управления со шкафом электрооборудования, стола для установки и закрепления исследуемых механизмов и контрольно-регистрирующей аппаратуры /тензорезисторные датчики, усилитель 8АНЧ-7М, осциллограф НН5/.

Исследовались спроектированные на основе методики расчета конструктивных и точностных параметров и изготовленные механизмы взаимной ориентации деталей для различных видов пазовых соединений. В результате исследований были записаны процессы изменения расчетных параметров во времени при взаимной ориентации и соединении деталей. Экспериментальные значения параметров механизмов совпадают с теоретическими в пределах 10%.

Например, при взаимной ориентации деталей соединения *Othos*-новные теоретические /экспериментальные/ параметры механизма: величина сборочного усилия 156, 1 Н /150 Н/, наибольший угол φ при свободном повороте пазовой детали во время ориентации $9^{\circ}40' /9^{\circ}27' /$, наибольший угол ψ поворота челнока $1^{\circ}38' /1^{\circ}28' /$. Время соединения деталей составляет 0,16-0,26 с.

Анализ полученных осциллограмм подтверждает закономерности протекания процесса взаимной ориентации, принятые при теоретических исследованиях.

При взаимной ориентации деталей методом сканирования, когда пазовая деталь имеет цилиндрическую торцовую поверхность, экспериментально определена скорость вращения ω пазовой детали, которая зависит от сборочного усилия P_c , величины смещения отверстия относительно центра вращения E , частоты вибрации планки f и амплитуды колебаний планки A_n . Методом планирования многофакторного эксперимента определено влияние одновременного изменения этих факторов в различных направлениях на угловую скорость.

Установлено, что наилучший параметр оптимизации получается при $f = 100$ Гц. При $E = 6$ мм и $f = 100$ Гц был поставлен полный факторный эксперимент и получено уравнение регрессии

$$\omega = (119,75 + 22,5 A_n - 0,025 P_c) \times 10^{-3} \quad (14)$$

При этих условиях наибольшая угловая скорость пазовой детали составляет 0,1273 рад/с.

Для проверки теоретических зависимостей между смещениями и углами поворота по условиям собираемости деталей для различных видов соединений проведены экспериментальные исследования на специальной установке, представленной в работе. В качестве примера построены экспериментальные и рассчитанные на ЭЦВМ теоретические графики зависимостей $\Delta\alpha$ и $\Delta\gamma$ от $\Delta\beta$ и i для соединений $Glth$, $GlthR$, Oth и $Glth2R$ при различных геометрических размерах сопрягаемых элементов. Экспериментальные данные с достаточной степенью точности совпадают с теоретическими.

В пятой главе "Проектирование автоматических сборочных машин и их целевых механизмов для сборки рассматриваемых соединений" предложены новые конструкции механизмов вторичной ориентации деталей во время подачи их на рабочую позицию, рассмотрена конструкция автоматической машины для сборки элементов коронирующего электрода и закрепления деталей при помощи сварки.

Проведены теоретические исследования по применению программного управления для сборки рассматриваемых соединений деталей. Совмещение осей отверстия и присоединяемой детали во время взаимной ориентации может происходить различными способами. Сначала можно перемещать присоединяемую деталь вдоль одной из координатных осей, считая деталь с отверстием неподвижной, а затем осуществить поворот ее до совпадения осей. Или, наоборот, сначала произвести поворот присоединяемой детали, а затем перемещать ее по координатным осям. При такой взаимной ориентации по способу программного управления после закрепления деталей на рабочих позициях необходимо измерить шесть параметров, необходимых для расчета траекторий, и осуществить три движения.

Рассмотрен выбор оптимального способа движения присоединяемой детали с использованием теории автоматического управления, в частности, принципа максимума Л.С.Понтрягина. Составлена математическая модель для решения задачи:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = V \cos x_3, \\ \dot{x}_2 = V \sin x_3, \\ \dot{x}_3 = V u. \end{cases} \quad (15)$$

Получен алгоритм управления, переводящий деталь из начального положения: $x_1(0) = x_0$, $x_2(0) = y_0$, $x_3(0) = \Delta\beta$ в положение: $x_1(t) = 0$, $x_2(t) = 0$, $x_3(t) = 0$ в виде

$$u(t) = \text{sign}(C_1 V \cos \chi_3 + C_2 V \sin \chi_3 + C_3) U_{\max}. \quad (I6)$$

Выведены уравнения, позволяющие определить моменты переключения t_1 и t_2 и координаты точки переключения при различных знаках первого интервала. На основе проведенных исследований синтезирована система оптимального управления, составлена функция переключения и определены координаты точки переключения и моменты переключения. Построен график функции переключения, который подтвердил правильность полученных аналитических зависимостей.

Показано, что синтезированная система управления является труднореализуемой, так как при движении планки в начало координат должен происходить одновременно ее поворот вокруг своей оси по алгоритму (I6), который трудно реализовать в механической системе.

Произведена аппроксимация системы, получены дополнительные аналитические зависимости, накладываемые аппроксимацией. В результате чего, для осуществления процесса взаимной ориентации на установочных позициях, где закрепляются собираемые детали, требуется измерить четыре параметра /два линейных и два угловых/ и произвести одно поступательное и два вращательных движения.

Представлена кинематическая схема машины и блок-схема алгоритма синтезированной системы, позволяющего в зависимости от значений четырех измеренных погрешностей базирования собираемых деталей рассчитать при помощи мини-ЭВМ параметры движения исполнительных механизмов автоматической сборочной машины.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ современного состояния теории и практики автоматической сборки показал, что для создания единой научной теории по проектированию автоматических сборочных машин необходима разработка методов проектирования средств автоматической сборки соединений деталей, сопрягаемых по нецилиндрическим поверхностям.

2. Получены и проверены экспериментально математические зависимости условий собираемости деталей и составлен алгоритм

для ЭЦМ по расчету допустимых пространственных отклонений относительно расположения деталей с учетом шести степеней свободы при различных способах базирования.

3. Разработана методика расчета автоматической сборочной машины на точность с использованием ЭЦМ, которая позволяет в зависимости от размеров сопрягаемых элементов и точности изготовления собираемых деталей рассчитать нормы точности машины или допустимые отклонения смещений и углов поворота исполнительных механизмов, работающих как по способу жесткого, так и упругого базирования.

4. Разработаны конструкции компенсационных механизмов взаимной ориентации собираемых деталей с использованием перекоса осей деталей в одной плоскости для сборки соединений с открытым и полукрытым пазом и в двух взаимоперпендикулярных плоскостях для сборки соединений с глухим и сквозным пазом, которые производят сборку деталей при относительных смещениях и углах поворота, значительно превышающих допустимые по условиям собираемости. Установлено, что при сборке соединений с длиной паза 30 мм, шириной 2 мм и зазором 0,02 мм, допустимое смещение деталей вдоль малой оси составляет 0,02 мм, угол поворота осей $\pm 4^\circ$, время сборки - 0,16-0,22 с.

5. Выяснено, что при применении вибрации надежность процесса взаимной ориентации значительно повышается, а величины допустимых смещений и углов поворота деталей относительно друг друга увеличиваются. При сборке деталей с цилиндрической торцовой поверхностью пазовой детали угол перекоса осей в направлении соединения не ограничивается. Экспериментально установлено, что при смещении паза относительно центра вращения, равном 6 мм, и частоте вибрации 100 Гц, скорость компенсации погрешности угла составляет 0,1273 рад/с.

6. Разработана методика расчета конструктивных и точностных параметров механизмов взаимной ориентации при проектировании. Погрешности определяемых параметров, полученных экспериментальным и расчетным путями не превышают 10%.

7. Предложены конструкции механизмов вторичной ориентации собираемых деталей с одновременной подачей их на рабочую позицию, позволяющие совместно с исследованными механизмами взаимной ориентации проектировать высокпроизводительные автоматические машины для сборки соединений деталей с пазовыми сопряжениями.

Внедрение автоматической машины для сборки элементов коронирующего электрода повышает производительность в 3,3 раза, а экономический эффект составляет 6400 рублей на программу выпуска данных изделий.

3. Разработана методика выбора способа и механизма взаимной ориентации расчетным путем, которая позволяет на стадии проектирования выбрать экономически целесообразную конструкцию механизма.

9. С целью создания универсальной сборочной машины синтезирована оптимальная система программного управления, обеспечивающая при сборке деталей управление с наименьшим количеством движений, равным 3, и измеряемых параметров погрешностей базирования, равным 4, и получен алгоритм системы, позволяющей перейти к проектированию автоматической сборочной машины с использованием механизмов, применяемых в станках с программным управлением.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Вахрин Л.А. Устройство выдачи деталей из магазина. - Механизация и автоматизация пр-ва, 1974, №9, с. 10.

2. Вахрин Л.А. Устройство для правки длинномерных стержней. Заявл. 14.03.74, №480472. Оpubл. в журн. "Открытия...", 1975, №30, с. 26-27.

3. Вахрин Л.А., Киселев В.В. Механизированная поточно-конвейерная линия сборки элементов осадительного электрода электрофильтров. - Механизация и автоматизация пр-ва, 1977, №8, с. 35-37.

4. Усов Б.А., Вахрин Л.А. Автоматическая сборка деталей с пазовым сопряжением. - Изв. высш. учеб. заведений. Машиностроение, 1977, №12, с. 130-134.

5. Вахрин Л.А. Расчет точности оборудования для автоматической сборки соединений с пазовым сопряжением. - Механизация и автоматизация пр-ва, 1978, №3 с. 12-15.

6. Вахрин Л.А., Усов Б.А. Транспортно-ориентирующее устройство. Заявл. 07.07.76, №601125. Оpubл. в журн. "Открытия...", 1978, №13, с. 41-42.

7. Вахрин Л.А., Усов Б.А. Взаимная ориентация деталей при автоматической сборке пазовых соединений. - Изв. высш. учеб. заведений. Машиностроение, 1978, №12, с. 161-165.

