

11477293

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ
ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

ШАБАЙКОВИЧ Виктор Антонович

УДК 621.757.06

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА
ПЕРЕНАЛАЛИВЛЯЕМЫХ УСТРОЙСТВАХ СБОРОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Специальность 05.13.07 - автоматизация
технологических процессов и производств.
05.02.08 - технология машиностроения.

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 1988

Работа выполнена во Львовском ордена Ленина политехническом институте имени Ленинского Комсомола

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Волчкевич Л.И.
- доктор технических наук,
профессор Ильинский Д.И.
- доктор технических наук,
Даниленко Э.П.

Ведущее предприятие - МНПО "ТЕМП" г.Москва

Защита диссертации состоится "19" октября 1988 г. на заседании специализированного Совета Д 053.15.04 при Московском Высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г.Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э.Баумана.

яре, заверенный
су.

1988 г.

Б.А.Усав

М477293

р. 100 экз.

Актуальность проблемы. Согласно "Основным направлениям экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года" автоматизация сборочного производства в машиностроении должна решаться за счет внедрения гибких автоматизированных систем сборочного оборудования и технологических процессов с прогрессивной структурой. Предусматривается последовательно повышать организационную и технологическую гибкость производства, широко внедрять гибкое переналаживаемое оборудование со встроенными средствами микропроцессорной техники, создавать необходимые условия для скорейшего внедрения изобретений. Осуществить намеченное, как отмечается в ижмском /1987 г./ Пленуме ЦК КПСС, можно только при коренной перестройке управления производством, которая нацелена на превращение научно-технического прогресса в главный фактор экономического роста.

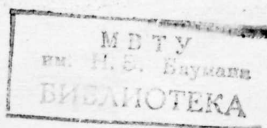
Перспективным направлением комплексной автоматизации сборки в серийном производстве является разработка и внедрение переналаживаемого технологического оборудования. Наиболее сложной функцией такого оборудования является автоматическая загрузка и осуществление сборки. Главным при этом считается автоматическое ориентирование разнотипных деталей, т.е. придание требуемого пространственного положения. Стабильность автоматического ориентирования полностью определяет качество функционирования, а подчас и возможность создания сборочного автомата и гибкой системы в целом. Широко известные ориентирующие устройства являются специальными и их применение в переналаживаемых сборочных автоматах невозможно. Немногочисленные конструкции специализированных и универсальных устройств отличаются многоплановостью, сложностью, малым диапазоном ориентируемых деталей, низкой производительностью и пока находятся на стадии экспериментальной разработки. Поэтому возникает острая необходимость в разработке на научной основе, исследовании и внедрении широкодиапазонных переналаживаемых ориентирующих устройств /ПУУ/. Проектирование таких устройств тормозится отсутствием научных основ автоматического ориентирования разнотипных деталей в гибких сборочных системах и методологии их разработки. Решение этой проблемы позволит создать прочную базу автоматизации серийного сборочного производства, повысить технико-экономические показатели и расширить технологические возможности сборочного оборудования и оснащения за

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1477293

Шабайкович В.А. Автоматичес



1477293

счет разработки принципиально новых способов ориентирования и существенно новых конструкций ПГУ.

Проблема создания высокоэффективных ПГУ становится все более актуальной из-за постоянного роста требований к производительности, точности и надежности технологического сборочного оборудования, качеству собираемых изделий. Для ее решения требуются новые научные обобщения, иной методологический подход.

Учитывая острую потребность в переналаживаемом сборочном автоматическом оборудовании в различных отраслях машиностроения, всесторонние исследования в области теории автоматического ориентирования разнотипных деталей на ПГУ сборочных автоматов, позволяющие повысить их технико-экономические показатели и расширить технологические возможности, являются необходимыми и актуальными.

Цель работы – решение крупной народно-хозяйственной проблемы повышения технико-экономических показателей и расширения технологических возможностей сборочных автоматов, встраиваемых в гибкие сборочные системы, за счет разработки и широкого внедрения принципиально новых ПГУ на базе научных основ теории автоматического ориентирования разнотипных деталей в технологических сборочных процессах серийного производства.

Методика исследований. В теоретических и экспериментальных исследованиях использовались основные положения теории моделирования, исследования операций, алгебры матриц, теории вероятности и математической статистики, графов, эвристического прогнозирования, производительности и надежности машин-автоматов, планирования экспериментов, методы математического программирования и другие.

Научная новизна. На базе комплексной программной оптимизационной модели, раскрывающей сущность совокупности связей автоматического ориентирования разнотипных деталей, разработаны и теоретически обоснованы принципиально новые способы, позволяющие осуществлять с высокой производительностью и надежностью безпереналадочные или с ограниченной наладкой процессы, основанные на широкой информативности признаков ориентируемых деталей. Для ориентирующей подсистемы, которая является основной в гибкой сборочной системе, разработана теория функционирования, включающая научно обоснованную методологию подготовки ориентируемых деталей, выбор оптимального способа автоматического ориентиро-

вания, структурного анализа и синтеза процесса и реализующей компоновки ПОУ, определения занимаемого положения и управления процессом на различных иерархических уровнях. Разработана научная методика расчета, выбора параметров, проектирования, в том числе и на ЭВМ, существенно новых, широкодиапазонных ПОУ и их основных целевых органов. Доказана перспективность и применимость разработанных новых способов автоматического ориентирования и конструкций ПОУ по критериям точности срабатывания, быстродействия, надежности и экономической эффективности.

Научная новизна подтверждается использованием полученных результатов в отечественных и зарубежных источниках, запросами предприятий и организаций на результаты исследований, решениями международных, всесоюзных, республиканских и отраслевых научно-технических конференций по данной проблеме, а также полученными авторскими свидетельствами на способы ориентирования и конструкции ПОУ.

Практическая ценность состоит в создании научной базы для проектирования существенно новых, высокоэффективных ПОУ, совершенствовании известных, разработки технологических сборочных операций. На основе разработанного и реализованного на ЭВМ ЕС комплекса программ, включающего оптимизационную модель процесса, выбор оптимального способа автоматического ориентирования, анализ и синтез структуры процесса, расчет и проектирование безналадочных определяющих устройств, анализ и синтез точности ориентирования, выбор конструкции ПОУ с заданным уровнем надежности, автоматизировано проектирование структуры процесса и конструкции ПОУ, что позволяет сократить этап разработки и повысить точность расчетов. Разработаны методы расчета ПОУ и основных целевых органов, оценки технологичности конструкции объектов по автоматическому ориентированию, выбора структуры операции наладки, расчета основных показателей их качества. Синтезированы новые способы и конструкции быстродействующих, широкодиапазонных и автоматически перенастраиваемых ПОУ и их основных целевых органов, защищенных авторскими свидетельствами СССР.

Реализация в промышленности. Результаты работы внедрены в производство с общим экономическим эффектом 631 тыс.руб. Более 50 предприятий запросили материалы полученных исследований по ориентированию различных деталей в технологических сборочных

исследований. Предполагаемый экономический эффект составляет более 2,4 млн.руб. Настоящая работа является составной частью исследований договора о межвузовском сотрудничестве между ЛОЛПИ и Жешувским политехническим институтом /ПНР/ и Высшей школой Цвикау /ГДР/. Внедренные конструкции ПОУ демонстрировались на многочисленных выставках. На ВДНХ СССР ряд конструкций ориентирующе-сборочных модулей отмечены дипломом третьей степени, а на ВДНХ СССР - получена серебрянная медаль. Основные результаты и методы исследований используются в учебном процессе.

Апробация работы. Сделано более 50 докладов на международных, всесоюзных, республиканских и отраслевых конференциях, посвященных проблемам автоматизации механосборочного производства, материал которых вызвал существенный интерес и был одобрен. Полное содержание диссертации обсуждалось во Львовском политехническом институте на объединенном заседании кафедр механико-технологического факультета в 1984г., а также МВТУ им.Баумана на семинарах кафедр МТ-2 и МТ-1 в 1985 и 1986г.г. Научные разработки технически апробировались при проектировании, промышленных испытаниях ПОУ сборочных автоматов, что нашло отражение в отчетах по выполненным хоздоговорам с предприятиями и договорам о творческом сотрудничестве. Ряд полученных результатов исследований использован зарубежными и отечественными авторами в своих разработках.

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано более 130 печатных работ, освещающих основные положения диссертации. Из них 3 монографии, 1 учебное пособие, 52 авторских свидетельств, свыше 50 статей.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из основной части и приложения. Основная часть содержит 8 разделов, включающих: введение, обзор по современному состоянию теории и практики автоматического ориентирования на универсальных устройствах; программное моделирование процесса автоматического ориентирования деталей, характеристику ориентирующей подсистемы, структурный анализ и синтез автоматического ориентирования разнотипных деталей, определение положения ориентируемых деталей на автоматически перенастраиваемых устройствах, точность автоматического ориентирования, надежность, производительность и экономичность автоматического ориентирования разнотипных деталей, производственное использование научных основ автоматического

процессах, основные выводы. В основной части 414 страниц, текст - 242, таблицы - 31, иллюстрации - 88, список литературы - 295 наименований. В приложении /110 стр./ приведены: распечатки программ, сведения об использовании и эффективности внедренных результатов работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Известны теоретические разработки автоматического ориентирования деталей на специальных устройствах, используемых в массовом производстве и недопускающих переналадки. Научные основы теории автоматического ориентирования деталей на перенастраиваемых устройствах пока отсутствуют. Вследствии этих трудностей до настоящего времени не было известно ни одной конструкции универсального сборочного автомата и ПОУ, выпускаемых серийно, т.к. не существует ни целостной теории, ни комплекса необходимых технических решений. Поэтому можно считать, что в настоящее время, в связи с развитием гибкого сборочного производства, предпринимаются первые попытки их создания. Решение указанных задач позволило создать и внедрить гамму ПОУ, которые реализованы в ряде моделей перенастраиваемых сборочных автоматов.

При анализе современного состояния теории и практики автоматического ориентирования были учтены работы ученых Артоболевского И.И., Беянина П.Н., Боброва В.П., Болчкевича Л.И., Вайсмана Е.Г., Гавриша А.П., Герасимова А.Г., Гусева А.А., Давиденка Э.П., Ильинского Д.Я., Калыня Р.К., Камышного Н.И., Капустина И.И., Клусова И.А., Колесова И.М., Корсакова В.С., Косилова В.В., Кошкина Л.Н., Лебедецкого М.С., Левчука Д.М., Лобзова Б.А., Макарова И.М., Малова А.Н., Медвидя М.В., Муценека К.Я., Новикова М.П., Охонимского Д.Е., Петрокаса Л.В., Повидайло В.А., Прейса В.Ф., Рабиновича А.Н., Рагульскиса К.М., Сермонса Г.Я., Усенко Н.А., Усова Е.А., Федотова А.И., Шаумяна Г.А., Шерешевского Н.И., Яревича Е.И., Яхимовича В.А. и многих других, а также прогрессивные разработки ведущих научно-технических центров: МЭТУ им.Баумана Н.Э., ВНИТИПрибора, ВПИЭлектро, Государственного НИИ машиностроения, Каунасского, Куйбышевского, Львовского, Рижского, Тульского политехнических институтов, Севастопольского приборостроительного института, НИИтехноприбор, НИТИ института физики АН Латв.ССР.

В известных конструкциях специализированных универсальных устройств используются различные способы ориентирования и принципы их действия: Анализ показывает, что механические устройства имеют ограниченное распространение, им присущи значительные недостатки, связанные со сложностью наладки, Пневматические, гидравлические и электромагнитные устройства, являясь бесконтактными, более универсальны, конструктивно совершеннее. Устройства с жесткими кинематическими связями имеют более широкое распространение, хотя они и сложнее, чем с гибкими. Многообразие требований, предъявляемых к таким устройствам, влечет за собой усложнение конструкции и снижение надежности работы. Акустические, голографические и телевизионные устройства пока еще несовершенны, очень сложны и, по-видимому, в таком виде не смогут найти применения в производстве. Перспективны ориентирующие устройства с применением направленных колебаний, которые сравнительно просты, компактны, надежны, не требуют сложной наладки.

Анализ современного состояния теории и практики автоматического ориентирования деталей в технологических сборочных процессах позволяет сделать следующие выводы: 1. Известные теоретические разработки по автоматическому ориентированию деталей на специальных устройствах могут являться лишь базой формирования научных основ автоматического ориентирования разнотипных деталей на ПОУ. 2. Известные специализированные ориентирующие устройства имеют узкий диапазон ориентируемых деталей, а универсальные, спроектированные на базе интуитивных методов, отличаются многоплановостью, для них характерна низкая производительность, конструктивная сложность, недостаточная надежность, малый диапазон ориентируемых деталей. 3. Известные теоретические разработки отдельных вопросов ориентирования деталей на универсальных устройствах сводятся к анализу их конструкций и принципа действия и носят описательный характер. 4. Отсутствуют перспективные способы автоматического ориентирования на ПОУ, известные – требуют сложной конструктивной реализации, особенно в плане наладки. 5. Полностью отсутствуют теоретические и практические разработки по переналадке ориентирующих устройств. 6. Недостаточно применяется современная методика анализа и синтеза технических решений, позволяющая создавать широкодиапазонные, быстроперенастраиваемые и быстродействующие ПОУ.

В связи с этим сформулированы основные задачи диссертации:

- на базе комплексной программной оптимизационной модели, раскрывающей совокупность связей автоматического ориентирования разнотипных деталей, разработать и теоретически обосновать принципиально новые способы, позволяющие осуществлять с высокой производительностью и надежностью, безпереналадочные или с ограниченной наладкой процессы, основанные на широкой информативности признаков ориентируемых деталей;
- для ориентирующей подсистемы, которая является основной в гибкой сборочной системе, разработать теорию функционирования, включая научно обоснованную методологию подготовки ориентируемых деталей, выбора способа автоматического ориентирования, структурного анализа и синтеза процесса и реализующей компоновки ПОУ, определения занимаемого положения и управления процессом;
- разработать научную методику расчета и выбора параметров, в том числе и на ЭВМ, существенно новых широкодиапазонных ориентирующих устройств, их основных целевых органов, провести их экспериментальную и производственную проверку;
- доказать перспективность и применимость разработанных принципиально новых способов автоматического ориентирования разнотипных деталей и существенно новых конструкций ПОУ по критериям точности срабатывания, быстродействия и экономической эффективности.

2. ПРОГРАММНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Для исследования процессов автоматического ориентирования разнотипных деталей используется программное моделирование на ЭВМ, которое представляется блочным программным комплексом, описывающим изменение положений деталей во время их загрузки или сборки. Это и обеспечивает получение достоверных характеристик процесса, удовлетворяющих заданному критерию эффективности при принятых конструкторско-технологических ограничениях, позволяет обходить трудности, связанные с большим объемом аналитических выкладок. Разработанная программная оптимизационная модель, построенная с позиций системного анализа, отражает пространственно-временные связи, раскрывает сущность автоматического определения занимаемого положения и задания требуемого,

особенности совмещения ориентируемых деталей по кратчайшей траектории с помощью оптимального комплекса ориентирующих линейных и угловых движений при существующих ограничениях, а также протекающие динамические явления в ПОУ. Алгоритмы и пакет программ оптимизационного моделирования на языке ФОРТРАН-IV в среде ДОС ЕС ЭВМ позволяет оперативно и качественно решать все основные задачи автоматического ориентирования с применением современной вычислительной техники.

Пространственное положение собираемых деталей определяется координатами вектора ориентации и его направляющими косинусами, при этом, положение базовой детали задается в неподвижной системе координат, а собираемой – в подвижной. Функция цели представлена в нормированном виде по отношению к метрике пространства, в котором задано расстояние и направление между собираемыми деталями. Если считать элементами пространства функцию времени, определяющую движение ориентируемых векторов, то в общем случае это будет пространство комплексных функций $\int |x(t)|^p dt$, для которых интеграл $L^p(a, b)$ существует в смысле Лебега $p=1, 2, \dots$, а функция цели определяется как

$$K = \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{(\int_a^b |x_b(t) - x_a(t)|^p dx)^{1/p}}{|\int_a^b |x_b(t) - x_a(t)|^p dx|^{1/p}} \right]^2 + (1 + \cos(B, B))^2 \right\}, \quad /I/$$

где расстояние между координатами векторов определяется метрикой пространства $\rho(B, B) = [\int_a^b |x_b(t) - x_a(t)|^p dx]^{1/p}$, а угол между этими векторами описывается $\cos(B, B)$. Запрещенное пространство задано размерами описанного шара, т.е. на целевую функцию налагается ограничение $\rho(B, B) \geq R + r$, где R, r – радиусы запрещенного пространства. Так как расстояние между характерными точками определено как функция времени изменения координат, то имея дифференциальные уравнения движения, можно оптимизировать функцию цели в динамическом процессе.

Определение направляющих косинусов подвижной системы координат, в которую помещена ориентируемая деталь, сводится к определению нулевого минимума функции

$$F(x) = \frac{1}{2} (f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 + f_5^2 + f_6^2 + f_7^2 + f_8^2 + f_9^2), \quad /2/$$

зависящей от параметров $x_i (i=1, 9)$, где X_i – направляющие косинусы, а f_i – налагаемые связи. Для произвольной точки $X_{k+1} = X_k + \xi$ в окрестностях минимума функция $F(x)$ с большой точностью аппроксимируется тремя членами ряда Тейлора

$$F(X_k + \xi) = F(X_k) + \sum_i \frac{\partial F(X_k)}{\partial x_i} \xi_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \frac{\partial^2 F(X_k)}{\partial x_i \partial x_j} \xi_i \xi_j + P|\xi|, \quad /3/$$

где $p|\xi|$ – члены более высокого порядка малости. Минимум функции определяется из условия $\partial F(x_k, \xi)/\partial \xi_i = 0 (i=\overline{1,9})$. Продифференцировав функцию по ξ , получены формулы, представляющие собой систему линейных алгебраических уравнений относительно переменных $\xi_j (j=\overline{1,9})$. Решение в матричном виде представляется как $\xi = -[F''(x_k)]^{-1} \nabla F(x_k)$, где $[F''(x_k)]^{-1}$ – матрица, обратная матрице вторых производных в точке x_k ; $\nabla F(x_k)$ – градиент функции в этой точке. Учитывая, что $x_{k+1} = x_k + \xi$, получена формула для вычисления нового приближения к минимуму исходной функции. Методом оптимизации выбран итерационный метод Ньютона, предусматривающий вычисление градиента и матрицы вторых производных. Изложенный алгоритм определения направляющих косинусов осей подвижной системы координат относительно неподвижной оформлен в виде подпрограммы.

Для формирования многопараметрической функции цели, параметры которой определяют положение ориентируемой детали в неподвижной системе координат, определяется расстояние и угол между векторами через координаты и направляющие косинусы

$$\rho(B, B) = \sqrt{(x_5 - x_6)^2 + (y_5 - y_6)^2 + (z_5 - z_6)^2}; \quad /4/$$

$$\cos(B, B) = \frac{a_{x_5} a_{x_6} + a_{y_5} a_{y_6} + a_{z_5} a_{z_6}}{\sqrt{a_{x_5}^2 + a_{y_5}^2 + a_{z_5}^2} \sqrt{a_{x_6}^2 + a_{y_6}^2 + a_{z_6}^2}}. \quad /5/$$

Алгоритм пересчета координат точек и направляющих косинусов ориентируемых векторов также оформлен в виде подпрограммы.

Формирование градиента функции цели

$$\nabla K(\vec{y}) = \left\{ \frac{\partial K}{\partial y_1}, \frac{\partial K}{\partial y_2}, \frac{\partial K}{\partial y_3}, \frac{\partial K}{\partial y_4}, \frac{\partial K}{\partial y_5}, \frac{\partial K}{\partial y_6} \right\} \quad /6/$$

определено, если вычислены частные производные функции цели в точке $\vec{y}_i (i=\overline{1,6})$

$$\frac{\partial K}{\partial y_i} = -\frac{1}{\rho_0^3(B, B)} [(x_5 - x_6) \frac{\partial x_6}{\partial y_i} + (y_5 - y_6) \frac{\partial y_6}{\partial y_i} + (z_5 - z_6) \frac{\partial z_6}{\partial y_i}] + [1 + \cos(B, B)].$$

$$\cdot \left[\frac{T_{16}}{a_{x_6}} (T_{15} - T_{16} \cos(B, B)) \frac{\partial a_{x_6}}{\partial y_i} + \frac{T_{26}}{a_{y_6}} (T_{25} - T_{26} \cos(B, B)) \frac{\partial a_{y_6}}{\partial y_i} + \frac{T_{36}}{a_{z_6}} (T_{35} - T_{36} \cos(B, B)) \frac{\partial a_{z_6}}{\partial y_i} \right]; (i=\overline{1,6});$$

$$T_6 = \sqrt{a_{x_6}^2 + a_{y_6}^2 + a_{z_6}^2}; T_{16} = a_{x_6}/T_6; T_{26} = a_{y_6}/T_6; T_{36} = a_{z_6}/T_6. \quad /7/$$

Для вычисления составляющих вектора градиента определены элементы матрицы

$$G = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_a}{\partial y_1} & \frac{\partial y_a}{\partial y_1} & \frac{\partial z_a}{\partial y_1} & \frac{\partial a_{a1}}{\partial y_1} & \frac{\partial a_{a2}}{\partial y_1} & \frac{\partial a_{a3}}{\partial y_1} \\ \frac{\partial x_a}{\partial y_2} & \frac{\partial y_a}{\partial y_2} & \frac{\partial z_a}{\partial y_2} & \frac{\partial a_{a1}}{\partial y_2} & \frac{\partial a_{a2}}{\partial y_2} & \frac{\partial a_{a3}}{\partial y_2} \\ \frac{\partial x_a}{\partial y_6} & \frac{\partial y_a}{\partial y_6} & \frac{\partial z_a}{\partial y_6} & \frac{\partial a_{a1}}{\partial y_6} & \frac{\partial a_{a2}}{\partial y_6} & \frac{\partial a_{a3}}{\partial y_6} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{vmatrix}, \quad /8/$$

где G_{ij} ($i, j=1,2$) – трехэлементные прямоугольные матрицы. Матрица G_{11} нулевая, а G_{12} – единичная. Элементы матриц G_{21} , G_{22} определяются из полученной системы дифференциальных уравнений. Алгоритм вычисления градиента функции цели оформлен в виде подпрограммы.

После формирования функции цели и ее градиента выбирается метод минимизации, в качестве которого использован градиентный метод Ньютона, который также оформлен в виде подпрограммы.

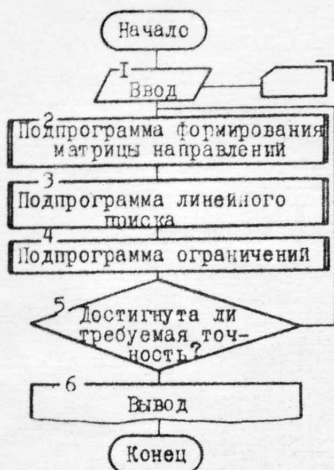


Рис.1. Блок-схема программного оптимизационного моделирования.

Движение исполнительного органа ПОУ произвольной структуры по ориентирующей траектории описывается дифференциальными уравнениями Лагранжа второго рода

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 + c_{\alpha}(\varphi_1 - \varphi'_1) + M_{\alpha}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}'_1) &= M_1; \\ m_1 \ddot{\xi}_1 - c_{\ell}(\varphi_1 - \varphi'_1) - M_{\ell}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}'_1) &= 0; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + c_{\alpha}(\varphi_2 - \varphi'_2) + M_{\alpha}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}'_2) &= M_2; \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 - c_{\ell}(\varphi_2 - \varphi'_3) - M_{\ell}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}'_3) &= 0, \end{aligned} \quad /9/$$

где M_i – приведенные моменты инерции звеньев ПОУ; m – их масса; c_{α} , c_{ℓ} – жесткость при кручении и сжатии; φ – обобщенная координата. Решение дифференциальных уравнений

выполнено с помощью метода Рунге-Кутты. Получены временные зависимости скорости, ускорения, перемещения и динамической погрешности исполнительного органа ПОУ. Увеличение жесткости звеньев ПОУ приводит к уменьшению динамических погрешностей и увеличению частоты колебаний исполнительного органа и не всегда влияет на динамические нагрузки. Характер затухания свободных колебаний зависит от импульсных возмущений, определяемых непрерывностью производных функций положения исполнительного органа и в значительной мере определяется диссипативными факторами. При установившихся режимах ориентирования амплитуда колебаний исполнительного органа

стабилизируется относительно среднего эффективного значения логарифмического декремента затухания, а величины динамических погрешностей определяются возникающими силами сопротивления, характеристиками привода. Время и производительность ориентирования определяются длиной и этапностью ориентирующей траектории, размерами запрещенных пространств, величинами движущих моментов, сопротивления и приведенных моментов инерции, а также зависят от способа отработки ориентирующих движений и структуры процесса автоматического ориентирования.

Блок-схема программного оптимизационного моделирования автоматического ориентирования разнотипных деталей /рис. I/ построена по модульному принципу, позволяет оперативно и качественно решать возникающие задачи. Предусматривается возможность использования новых модульных подпрограмм.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОРИЕНТИРУЮЩЕЙ ПОДСИСТЕМЫ

Структуру и основные характеристики ориентирующей подсистемы /ОП/ раскрывает оптимизационная программная модель автоматического ориентирования, определяет совокупность устойчивых связей, обеспечивающих целостность и тождественность при изменении положений разнотипных деталей. Сложность ОП определяется технологическими, конструкционными и алгоритмическими способами проявления и реализации свойств разнотипных деталей, которые описываются комплексными матрицами, состоящими из блочных, отражающих класс ориентируемых деталей, их форму, размеры, массу, асимметрию, точность ориентирования, ориентирующую траекторию, состояние деталей и необходимую для ориентирования дополнительную информацию. В предложенной методике оценки эффективности отработки конструкции объектов на технологичность по автоматическому ориентированию используются обобщенные коэффициенты, полученные на основе иерархической графовой модели и обеспечивающие комплексную оценку свойств деталей, определяющие сложность их автоматического ориентирования. При приближении коэффициента к единице автоматическое ориентирование детали упрощается. Количественные оценки частных коэффициентов, образующие обобщенные, определяются по известным методикам.

Исходя из установленных основных функций автоматического ориентирования разнотипных деталей, выявлены, классифицированы и исследованы основные целевые органы ПОУ. Структурно-функцио-

нальная схема ПОУ показана на рис.2.



Рис.2. Структурно-функциональная схема ПОУ.

Таковыми функциями ориентирования являются автоматическое определение занимаемого положения объекта ориентирования, задание требуемого, формирование оптимального комплекса ориентирующих движений /ОД/ и его отработка. Эти функции выполняются основными целевыми органами: определяющим, управляющим и исполнительным. В некоторых случаях функции выполняются совмещенными органами. В свою очередь каждый целевой орган состоит из функционально необходимых элементов, находящихся в функционально-конструктивном единстве, обеспечивающих процесс автоматического ориентирования.

По различным классификационным критериям разработаны классификации ПОУ и их основных целевых органов, которые включают как известные устройства, так и теоретически возможные, что является основой для составления морфологических матриц вариантов новых конструкций. Совокупность связей ОП, определяющих конструкции ПОУ, классифицирована по различным критериям и представлена математической моделью в виде комплексного орграфа, состоящего из простых, отображающих отдельные типы связей. Методика установления оптимальных связей сводится к минимизации /максимизации/ обобщенных показателей, что повышает качество ориентирования. Так, например, при взаимном ориентировании оптимальные связи между ориентируемыми, базирующими и сопрягаемыми поверхностями деталей устанавливаются на орграфе связей алгоритмом выбора треугольников со сторонами минимальных величин обобщенных показателей.

Сущность управления в ОП представляется в виде иерархии уровней: задание требуемого положения деталей, планирование оп-

тимальной стратегии управления, решающей задачу ориентирования в области возможных положений, определение занимаемого положения и формирование модели среды, построение ОД в виде изменения обобщенных координат деталей и реализация управления на основе алгоритмического синтеза закона управления исполнительным механизмом. Реализуется управление в ОП управляющим органом.

Гибкость ОП, являющаяся одной из основных характеристик, рассматривается на технологическом, конструкционном и алгоритмическом уровнях, обеспечивается технологическими и конструктивными модулями, программой ориентирования, а количественно — оценивается коэффициентами приспособляемости. Под технологической гибкостью понимается возможность переналадки отдельных переходов сборочной операции при изменении объекта или условий ориентирования, что обеспечивается определенной структурой процесса, которая качественно характеризуется устойчивыми связями и сочетанием ориентирующих переходов, а количественно — их числом. Гибкость ПОУ, реализующая технологию автоматического ориентирования, обеспечивается универсальностью и приспособляемостью конструкции, технически допустимой возможностью переналадки. Алгоритмическая гибкость обеспечивается возможностью управления ориентированием деталей. На гибкость оказывают влияние свойства ориентируемых деталей, их группирование, технологичность, организация и компоновка модульных комплектов ОД, режимы. Гибкость ОП должна быть оптимальной, обеспечивающей автоматическое ориентирование технически и экономически обоснованной группы деталей.

Идея разработанных способов автоматического ориентирования заключается в том, что разнотипные детали подаются на ориентирующую плоскость, на которой определяется занимаемое ими положение. Требуемое положение задается сменным силуэтом детали или сигналами определяющих устройств. При сравнении информации о занимаемом и требуемом положениях деталей формируются необходимые ОД, подлежащие обработке. В способе заложено самориентирование за счет использования информативных признаков деталей, направляющих элементов, организации внешней среды и режимов процесса.

На базе рассмотренных положений разработана методика выбора способа автоматического ориентирования разнотипных деталей. Выбор выполняется автоматически с помощью ЭВМ по алгоритму сравнения комплексных матриц ориентируемых деталей, несущих их информативные признаки, с матрицами различных способов по совпа-

денно фиксируемых элементов, отражающих отдельные признаки и их практическое использование для придания деталям требуемого положения в каждом способе. Эта методика позволяет также формировать группы ориентируемых деталей при реализации выбранного способа. Описаны разработанные существенно новые способы автоматического ориентирования разнотипных деталей такие, как фотоэлектронный, электронно-гравитационный, пневматический, электромеханический, ориентирования резьбовых деталей и другие.

4. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ДЕТАЛЕЙ

На основе установленных технологических принципов управления и выявления общих закономерностей изменения свойств ОП разработана теория структур автоматического ориентирования разнотипных деталей, в основу которой положена формализация подсистемы как закономерной совокупности необходимого числа и характера ориентирующих и вспомогательных действий, способов их выполнения, сложности наладки. Структура процесса ориентирования является одним из решающих факторов выбора компоновки ИОУ с точки зрения его производительности и экономической эффективности. Основными движениями являются такие, выполнение которых связано с изменением линейной или угловой ориентации деталей, т.е. ориентирующие перемещения и вращения. ОД, лежащие в основе структурного анализа и синтеза автоматического ориентирования разнотипных деталей, представлены треугольными матрицами, которые описывают различные сочетания ориентирующих вращений и перемещений, их направление и величину. ОД являются необходимой и достаточной базой для формирования структур процесса и структурных компоновок ИОУ.

В количественном плане структура ориентирования определяется временем выполнения процесса

$$t_{\text{оп}} = (t_{\text{он}} + t_3 + t_n + t_y + t_l + t_{\alpha} + t_k + t_{\Delta l} + t_{\Delta \alpha} + t_k) / p k + (t_{\text{обс}} + t_{\text{нал}}) / n_g = (t_0 + t_3) / p k + (t_{\text{обс}} + t_{\text{нал}}) / n_g, \quad / \text{ИО} /$$

где $t_{\text{он}}, t_3, t_n, t_y, t_l, t_{\alpha}, t_k, t_{\Delta l}, t_{\Delta \alpha}, t_k, t_{\text{обс}}, t_{\text{нал}}$ - соответственно время, необходимое на определение занимаемого положения, захват детали, ее перемещение, определение комплекса ОД, отработку линейных и угловых ОД, контроль правильности заданного положения, линейное и угловое доориентирование, холостой ход, обслуживание и переналадку; p, k - число потоков и позиций ори-

ентирования; n_g - величина партии ориентируемых деталей; t_o, t_g - время выполнения основных и вспомогательных движений. Для полноты структурного анализа и синтеза учитываются также временные затраты, связанные с переналадкой ПОУ

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6, \quad //II/$$

где $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ - время на ознакомление и подготовку наладки, выполнение наладки определяющего устройства, управляющего, исполнительного и пробного ориентирования.

Полагая, что классы структур отражают особенности выполнения основных движений, а группы - вспомогательных, и базируясь на научно обоснованной теории структур, сочетанием классов, подклассов и групп сформированы типовые структуры автоматического ориентирования и наладок, имеющие различную производительность. Получено 36 типовых структур пространственного и взаимного ориентирования и 15- операций наладок. Анализ типовых структур показывает, что их развитие идет от простейших к более сложным. Установление оптимальной структуры процесса, предопределяющей структуру сборочной операции и компоновку ПОУ, осуществляется по разработанной номограмме или по алгоритму оптимизации орграфа структур. В первом случае из условия приравнивания требуемой и фактической производительности определяется время автоматического ориентирования. Затем по отношению рабочего цикла к такту устанавливаются конкурирующие структуры, а по величине затрат устанавливается оптимальная. Номограмма позволяет также выбрать величину партии ориентируемых /собираемых/ деталей по величине затрат на их ориентирование и переналадку. Во втором случае установление оптимальной структуры выполняется на ЭВМ по разработанной программе перебором возможных структур, обеспечивающих требуемую производительность и минимальные затраты ориентирования.

Структура автоматического ориентирования и предопределяет компоновку ПОУ. Известно, что даже при оптимальной структуре можно получить далеко не оптимальную компоновку. Выбор оптимальной компоновки ПОУ возможен только при анализе и синтезе множества компоновок, отвечающих заданным условиям. Структурный анализ и синтез компоновок ПОУ включает составление их структурных формул на уровнях технологических и конструкционных, единично-нулевых матриц ограничений, их качественный анализ и синтез, отбор конкурирующих и установление оптимальной. Схема синтеза

выполняет формирование начальных условий, входных выходных переменных, выявление ОД для группы деталей, построение матриц технологических модулей и модульных комплектов, установление с учетом структуры ориентирования технологических и типовых компоновок, синтез входящих блоков, уточнение группы ориентируемых деталей и составление конструкционных компоновок.

Технологическая компоновка ПОУ отображает образующие технологические модули и модульные комплекты. Технологический модуль — это элементарный блок компоновки, выполняющий законченное ОД. Отличаются модули между собой схемами ОД, их направлением и режимом обработки. Совместно модули образуют модульные комплекты, представляющие блоки компоновок ПОУ. Такие компоновки описываются матрицей

$$K = \begin{vmatrix} - & V_x & V_y & V_z & V_x V_y & V_y V_z & V_x V_z & V_x V_y V_z \\ \Pi_x & \Pi_x V_x & \Pi_x V_y & \Pi_x V_z & \Pi_x V_x V_y & \Pi_x V_y V_z & \Pi_x V_x V_z & \Pi_x V_x V_y V_z \\ \Pi_y & \Pi_y V_x & \Pi_y V_y & \Pi_y V_z & \Pi_y V_x V_y & \Pi_y V_y V_z & \Pi_y V_x V_z & \Pi_y V_x V_y V_z \\ \Pi_z & \Pi_z V_x & \Pi_z V_y & \Pi_z V_z & \Pi_z V_x V_y & \Pi_z V_y V_z & \Pi_z V_x V_z & \Pi_z V_x V_y V_z \\ \Pi_x \Pi_y & \Pi_x \Pi_y V_x & \Pi_x \Pi_y V_y & \Pi_x \Pi_y V_z & \Pi_x \Pi_y V_x V_y & \Pi_x \Pi_y V_y V_z & \Pi_x \Pi_y V_x V_z & \Pi_x \Pi_y V_x V_y V_z \\ 3 & 3 V_x & 3 V_y & 3 V_z & 3 V_x V_y & 3 V_y V_z & 3 V_x V_z & 3 V_x V_y V_z \\ \Pi_y \Pi_z & \Pi_y \Pi_z V_x & \Pi_y \Pi_z V_y & \Pi_y \Pi_z V_z & \Pi_y \Pi_z V_x V_y & \Pi_y \Pi_z V_y V_z & \Pi_y \Pi_z V_x V_z & \Pi_y \Pi_z V_x V_y V_z \\ 3 & 3 V_x & 3 V_y & 3 V_z & 3 V_x V_y & 3 V_y V_z & 3 V_x V_z & 3 V_x V_y V_z \\ \Pi_x \Pi_z & \Pi_x \Pi_z V_x & \Pi_x \Pi_z V_y & \Pi_x \Pi_z V_z & \Pi_x \Pi_z V_x V_y & \Pi_x \Pi_z V_y V_z & \Pi_x \Pi_z V_x V_z & \Pi_x \Pi_z V_x V_y V_z \\ 3 & 3 V_x & 3 V_y & 3 V_z & 3 V_x V_y & 3 V_y V_z & 3 V_x V_z & 3 V_x V_y V_z \\ \Pi_x \Pi_y & \Pi_x \Pi_y V_x & \Pi_x \Pi_y V_y & \Pi_x \Pi_y V_z & \Pi_x \Pi_y V_x V_y & \Pi_x \Pi_y V_y V_z & \Pi_x \Pi_y V_x V_z & \Pi_x \Pi_y V_x V_y V_z \\ \Pi_z & \Pi_z V_x & \Pi_z V_y & \Pi_z V_z & \Pi_z V_x V_y & \Pi_z V_y V_z & \Pi_z V_x V_z & \Pi_z V_x V_y V_z \end{vmatrix} 12/$$

где V_x , V_y , V_z — модули, выполняющие вращение относительно соответствующих координатных осей; Π_x , Π_y , Π_z — модули, отрабатывающие перемещение; 3 — захват. По характеру сочетания технологических модулей компоновки развиваются от простых к более сложным. Порядок обработки ОД в компоновке определяется типовыми структурными формулами процесса ориентирования. Подобно формируется матрица компоновок, учитывающая направленность и режим обработки. Выбор компоновок, отвечающих требованиям структуры ориентирования, осуществляется на основе анализа их множеств и определения типовых по внутренней структуре и конструкционным признакам, а также особенностям сборочного оборудования. Так, например, подмножество компоновок типа $\Pi_1 V_2$ записывается

$$K_{1,2} = \begin{bmatrix} \text{П}_x \text{В}_x \text{В}_3 & \text{П}_x \text{В}_x \text{В}_y & \text{П}_x \text{В}_x \text{В}_x & 3 \text{П}_x \text{В}_x \text{В}_y \\ \text{П}_x \text{В}_y \text{В}_3 & \text{П}_x \text{В}_y \text{В}_x & \text{П}_x \text{В}_y \text{В}_y & 3 \text{П}_x \text{В}_y \text{В}_x \\ \text{В}_x \text{П}_x \text{В}_3 & \text{В}_x \text{П}_x \text{В}_x & \text{В}_x \text{П}_x \text{В}_y & 3 \text{В}_x \text{П}_x \text{В}_x \\ \text{В}_y \text{П}_x \text{В}_3 & \text{В}_y \text{П}_x \text{В}_x & \text{В}_y \text{П}_x \text{В}_y & 3 \text{В}_y \text{П}_x \text{В}_x \\ \text{В}_x \text{В}_y \text{П}_3 & \text{В}_x \text{В}_y \text{П}_x & \text{В}_x \text{В}_y \text{П}_y & 3 \text{В}_x \text{В}_y \text{П}_x \\ \text{В}_y \text{В}_y \text{П}_3 & \text{В}_y \text{В}_y \text{П}_x & \text{В}_y \text{В}_y \text{П}_y & 3 \text{В}_y \text{В}_y \text{П}_x \end{bmatrix} \quad /13/$$

В зависимости от величины движения захвата матрица делится на две кососимметричные части. В левом столбце матрицы размещены компоновки с возможными движениями простого захвата, в правом — универсальный захват выполняет различные движения. Два средних столбца занимают промежуточное положение. Для матрицы разработана таблица, в которой приведены кинематические схемы компоновок, их рабочие зоны и обрабатываемые ОД. Аналогично представляются типовые компоновки для других подмножеств матрицы модульных комплектов.

На последнем этапе отбора компоновок ПОУ используются ограничения, связанные с характером загрузки, подачи деталей, их формой и типоразмером, размерами рабочей зоны и т.п. После формализации ограничений применяются математические методы отбора с использованием единично-нулевых матриц ограничений. Конструкционная реализация компоновок связана с конкретизацией признаков, отраженных в разработанных классификациях ПОУ и их целевых органов.

При формировании конструкции ПОУ учитывается, что каждая функция ориентирования выполняется набором необходимых и излишних деталей. Для оптимизации решения применяется известная методика функционально-стоимостного анализа. Методика определения основных и вспомогательных функций предусматривает построение морфологических матриц

$$K(0) = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & P_{m3} & \dots & P_{mn} \end{bmatrix}; \quad K(b) = \begin{bmatrix} P'_{11} & P'_{12} & P'_{13} & \dots & P'_{1n} \\ P'_{21} & P'_{22} & P'_{23} & \dots & P'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P'_{m1} & P'_{m2} & P'_{m3} & \dots & P'_{mn} \end{bmatrix} \quad /14/$$

где P_{ij} , P'_{ij} — конструкционные решения реализации основных и вспомогательных функций. Тогда конструкционное решение определяется суммарной матрицей $K_{\text{поу}} = K(0) + K(b) = [P_{ij}] + [P'_{ij}] = [P_{ij} + P'_{ij}]$. Каждый вариант конструкции ПОУ оценивается обобщенным показате-

лем, учитывающим все виды затрат. В дальнейшем строится оргграф, вершины которого представляют конструкторские реализации функций, а дуги — обобщенные показатели. Для выявления оптимальной конструкции требуется определить кратчайший путь в оргграфе.

Методика проектирования ПОУ включает основные этапы: подготовительный /формирование исходных данных, задаваемых параметров и ограничений/, аналитический /моделирование процесса, установление технической гибкости, формирование группы ориентируемых деталей/, синтезирующий /выбор способа автоматического ориентирования, структуры процесса и наладки, технологических и конструктивных компоновок, параметров и характеристик/ и окончательного оформления /получение чертежей на графопостроителе или вычерчивание общего вида, разработка технологического процесса изготовления и эксплуатационной документации/. С использованием разработанной методики создан ряд конструкций широкодиапазонных и быстродействующих ПОУ и их основных целевых органов, большинство из которых выполнены на уровне изобретений, защищены авторскими свидетельствами, что подтверждает ее практическую ценность и перспективность.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОРИЕНТИРУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ НА АВТОМАТИЧЕСКИ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ УСТРОЙСТВАХ

наиболее эффективным средством для определения занимаемого положения разнотипных ориентируемых деталей являются разработанные принципиально новые устройства, содержащие автоматически переналаживаемые определяющие матрицы /ОМ/ с сигнальными элементами. Для точного и надежного определения занимаемого положения деталей в таких устройствах обеспечивается требуемый закон и характер изменения величин выходных сигналов элементов ОМ в одном или разных ее направлениях, который может быть прямолинейным или криволинейным, непрерывным или дискретным. В зависимости от типа чувствительных элементов такие устройства могут быть фотоэлектронными, электроконтактными, пневматическими и другими. С точки зрения простоты реализации наиболее перспективны фотоэлектронные ОМ, в которых используются фотопреобразователи, добавочные и шунтирующие резисторы с различным типом их соединения. Путем выделения отдельных строк или столбцов получают ОМ с последовательным или параллельным соединением.

На рис. 3 приведена схема ОМ со смешанным соединением элементов.

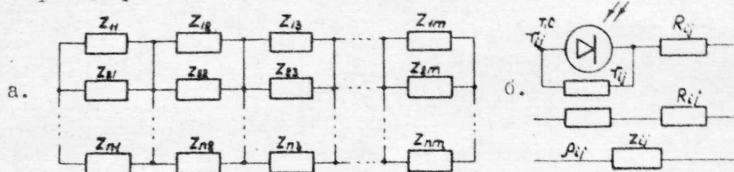


Рис. 3. Принципиальная схема фотоэлектронной ОМ /а/ и ее ячейки/б/.

Сопротивление элементарной ячейки ОМ $Z_{ij}^{tc} = R_{ij} + r_{ij} \cdot r_{ij}^{tc} / (r_{ij} + r_{ij}^{tc})$, где R_{ij}, r_{ij} — сопротивление добавочного и шунтирующего резисторов; r_{ij}^{tc} — темновое или световое сопротивление фотопреобразователя. Общее сопротивление ОМ

$$Z_{\Sigma} = \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & \dots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & \dots & Z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & Z_{n3} & \dots & Z_{nm} \end{vmatrix} = [Z_{ij}], \quad /I5/$$

где m, n — число строк и столбцов матрицы. Сопротивление j -го столбца равно $1/Z_j^{tc} = Y_j^{tc} = \sum_{i=1}^n 1/Z_{ij}^{tc}$, $j = \overline{1, m}$, а общее $Z_{\Sigma}^{tc} = \sum_{j=1}^m 1/Y_j^{tc} = \sum_{j=1}^m Z_j$, где Y_j^{tc} — проводимость столбца. Тогда общее сопротивление ОМ

$$Z_{\Sigma} = \sum_{j=1}^m 1 / \left[\sum_{i=1}^n (\tau_{ij} + r_{ij}^{tc}) / \tau_{ij} R_{ij} + r_{ij}^{tc} (\tau_{ij} + R_{ij}) \right]. \quad /I6/$$

Главным параметром ОМ является чувствительность, которая характеризует разность между ее общими сопротивлениями при засветке двух фотопреобразователей. При условии засветки единичного фотопреобразователя общее сопротивление ОМ

$$Z_{\Sigma}^{k,l} = \sum_{i=1}^n 1 / \left[\sum_{j=1}^m 1 / (\tau_{ij} + R_{ij}) \right] + 1 / \left[\sum_{i=1, i \neq k}^n 1 / (r_{il} + r_{il}^{tc}) + r_{kl}^{tc} / (\tau_{kl} R_{kl} + r_{kl}^{tc} (r_{kl} + R_{kl})) \right], \quad /I7/$$

где k, l — обозначение строки и столбца матрицы. Аналогично определяется общее сопротивление при засветке другого фотопреобразователя, например q и s при $q > k, s > l$. Искомая разность сигналов составит

$$Q = Z_{\Sigma}^{s,s} - Z_{\Sigma}^{k,l} = 1 / \sum_{i=1}^n 1 / (r_{il} + R_{il}) - 1 / \sum_{i=1}^n 1 / (r_{is} + R_{is}) + 1 / \left\{ \sum_{i=1, i \neq q}^n 1 / (r_{is} + R_{is}) + (\tau_{qs} + r^{tc}) / [\tau_{qs} R_{qs} + r^{tc} (\tau_{qs} + R_{qs})] \right\} - 1 / \left\{ \sum_{i=1, i \neq k}^n 1 / (r_{il} + R_{il}) + (\tau_{kl} + r^{tc}) / [\tau_{kl} R_{kl} + r^{tc} (\tau_{kl} + R_{kl})] \right\}. \quad /I8/$$

При рядом расположенных фотопреобразователях, т.е.

$$Q = 1 / \sum_{i=1}^n y_{il}^T (1 + \delta_i^{kl} r p y_{k+l}^c) - 1 / \sum_{i=1}^n y_{il}^T (1 + \delta_i^{ks} r p y_{k+s}^c); y_{il}^T = 1 / (r + R_{il}); y_{kl}^c = (r \cdot r^{tc}) / [\tau R_{kl} + r^{tc} (R_{kl} + r)]; y_{k+l}^c = (r \cdot r^{tc}) / [\tau R_{k+l} + r^{tc} (R_{k+l} + r)], \quad /I9/$$

где δ_i^k ; δ_i^{k+l} — символы Кронекера. При формировании величин добавочных резисторов по арифметической прогрессии аналитическая

зависимость изменения чувствительности выражается

$$Q_{\Delta R} = 1 / \left\{ \sum_{i=1}^n 1 / \{ r + R_0 + [n(l-1) \cdot i] \Delta R \} [1 + \delta_i^* \rho r / \{ \rho r^c + R_0 + [n(l-1) \cdot k + 1] \Delta R \}] - 1 / \sum_{i=1}^n 1 / \{ r + R_0 + [n(l-1) \cdot i] \Delta R \} [1 + \delta_i^* \rho k / \{ \rho r^c + R_0 + [n(l-1) \cdot k + 1] \Delta R \}] \right\}, \quad \rho = r^2 / (r + r^c) r, \quad /20/$$

где ΔR — приращение добавочных резисторов; R_0 — начальное сопротивление. По результатам расчетов, выполненных на ЭВМ и исследований построены графики теоретических $T/$ и экспериментальных $\Delta/$ зависимостей /рис.4/. Повышение чувствительности наиболее

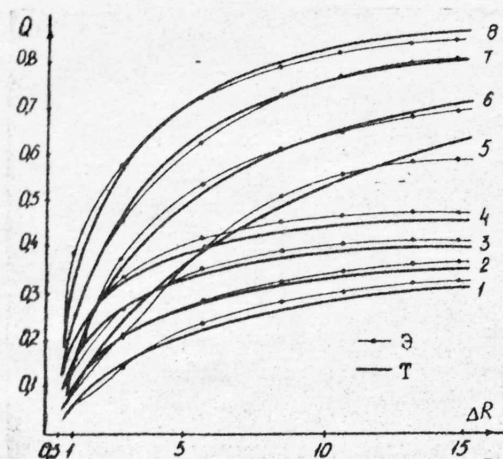


Рис.4. Изменение чувствительности ОМ при различных сопротивлениях ее элементов.

заметно при увеличении ΔR до 6...8, при дальнейшем изменении ΔR чувствительность асимптотически приближается к своему предельному для заданных параметров значению. При увеличении светового сопротивления фотопреобразователей предельные значения чувствительности снижаются /кривые 1...4/. Наблюдается такой же характер изменения чувствительности при увеличении сопротивления шунтирующего резистора.

Чувствительность возрастает при увеличении сопротивления добавочного резистора /5...8/. Такой подход позволяет получать ОМ с переменным полем чувствительности, позволяющим сформировать участки с большей чувствительностью и изменением ее в нужном направлении в зависимости от ожидаемой плотности расположения ориентируемых элементов деталей. Методика расчета ОМ с постоянным полем чувствительности предусматривает определение различных величин ΔR из полученных уравнений. При проведении экспериментальных и производственных исследований ОМ с переменным и постоянным полями чувствительности совпадение с теоретическими зависимостями составило около 6,8%. Аналогична методика расчета

электроконтактных ОМ, при этом, полученные аналитические зависимости проще за счет отсутствия темнового и светового сопро-
тивлений, а сходимость с экспериментальными данными 4,3%.

Число чувствительных элементов ОМ зависит от площади ориентируемых элементов деталей, размеров светочувствительных поверхностей фотопреобразователей и величины выходного сигнала. Размеры чувствительных элементов и шаг их расположения определяются нахождением оптимального покрытия по полученным аналитическим зависимостям, положенным в основу разработанного алгоритма и программы для ЭВМ ЕС

$$\min \{M(\Delta x), M(\Delta y)\} \leq d \leq \max \{M(\Delta x), M(\Delta y)\}; \quad /2I/$$

$$T_x = 3\sigma_x; \quad T_y = 3\sigma_y.$$

где $M(\Delta x), M(\Delta y)$ - математические ожидания отклонений расположения ориентируемых элементов деталей от точки возможного положения; d - диаметр сигнального элемента; σ_x, σ_y - среднеквадратическое отклонение выборки по двум параметрам. Наибольшее покрытие наблюдается при диаметрах фотопреобразователей 1,2; 2,3; 3,7 и шаге 4...8 мм. Сходимость теоретических и экспериментальных данных не превышает 8,1%.

Повысить чувствительность ОМ можно за счет обеспечения ее приспособляемости к форме ориентируемых деталей и условиям протекания процесса. Это реализуется введением в схему матрицы самовыключающихся чувствительных элементов строк и столбцов, не участвующих в определении занимаемого положения каждой детали, а также использованием переменных резисторов, обеспечивающих требуемые выходные сигналы и заданный закон их изменения. Впервые разработаны конструкции адаптивных ОМ, отличающихся существенной новизной.

Общий вид конструкции фотоэлектронной и электроконтактной ОМ вычерчивается по разработанной программе с помощью ЭВМ на графопостроителях, что обеспечивает высокое качество проектирования при минимальных временных затратах. Предложена комплексная методика разработки автоматически перенастраиваемых определяющих устройств матричного типа, включающая ряд программ для ЭВМ, расчета основных элементов и машинного проектирования.

6. ТОЧНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ УСТРОЙСТВАХ

Математическая модель формирования точности автоматического ориентирования разнотипных деталей на ПОУ предусматривает составление матричных уравнений, отражающих преобразование входных и выходных переменных, характеризующих элементарные погрешности. По месту возникновения и характеру таких погрешностей разработана классификация, позволяющая выделить при расчетах главные. Используемая методика имеет обобщенный характер, позволяет выявить физическую сущность преобразований действующих факторов в погрешности, определить их влияние на показатели точности ПОУ. Матричное уравнение, по которому рассчитываются погрешности, имеет вид

$$\begin{vmatrix} \Delta X_i^2 & k_{X_i}^2 \\ \Delta Y_i^2 & k_{Y_i}^2 \\ \Delta \varphi_{z_i}^2 & k_{\varphi_{z_i}}^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} n_{11}^2 & n_{12}^2 & n_{13}^2 & \dots & n_{1m}^2 \\ n_{21}^2 & n_{22}^2 & n_{23}^2 & \dots & n_{2m}^2 \\ n_{31}^2 & n_{32}^2 & n_{33}^2 & \dots & n_{3m}^2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta_n^2 & k_n^2 \\ \Delta_n^2 & k_n^2 \\ \Delta_n^2 & k_n^2 \end{vmatrix}, \quad /22/$$

где $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta \varphi_{z_i}$ — линейные и угловые составляющие суммарной погрешности; $k_{X_i}, k_{Y_i}, k_{\varphi_{z_i}}$ — коэффициенты приведения; n_{ij} — коэффициенты относительного рассеивания. Учитывая характер распределения погрешностей, целесообразно суммарную погрешность ориентирования рассчитывать как сумму случайных, постоянных и периодических погрешностей, определяемых из аналитических зависимостей. Тогда величины линейной и угловой погрешностей составят

$$\Delta_{\Sigma l} = 1,2 \sqrt{\Delta X_c^2 + \Delta Y_c^2 + \Delta Z_c^2} + \Delta_{\text{сист}}^{(l)}; \Delta_{\Sigma \varphi} = 1,2 \sqrt{\Delta \varphi_x^2 + \Delta \varphi_y^2 + \Delta \varphi_z^2} + \Delta_{\text{сист}}^{(\varphi)}, \quad /23/$$

где $\Delta_{\text{сист}}^{(l)}, \Delta_{\text{сист}}^{(\varphi)}$ — суммарные линейные и угловые систематические погрешности.

Выполненные расчеты показали, что точность автоматического ориентирования разнотипных деталей на ПОУ электромеханического типа составили: пространственного — 0,1...0,5, взаимного — 0,06...0,3, пневматического — 0,5, электрогравитационного — 0,33 мм, что совпадает с полученными экспериментальными данными /не совпадение не превышает 3...7,8%/:

Допустимая погрешность положения ориентируемых деталей на фотозлектронных определяющих устройствах при дискретном ориентировании, являясь функцией многих переменных, в основном определяется величиной и направлением освещенности, шагом расположения фотопреобразователей, их размерами, местом и начальным пе-

рекрытием светочувствительных элементов ОМ контуром детали, а при непрерывном – скоростью движения деталей, погрешностью формы и величиной задержки считывания сигналов. При дискретном ориентировании величины допустимых погрешностей составили 1...3 мм, непрерывном – 1,5...2,6. Увеличить допустимую погрешность в среднем на 15...22% можно, используя встречное освещение под углом 60° и вводя линию задержки считывания сигналов.

Допустимые погрешности положения ориентируемых деталей могут быть значительно увеличены в разработанных на базе научных основ автоматического ориентирования разнотипных деталей адаптивных ПОУ. Так в пневматических и механических устройствах для взаимного ориентирования эти величины составили от 1...6 мм до половины диаметра **центрирующих стержней**.

В связи с тем, что резьбовые детали занимают значительное место в общем объеме сборочных работ, разработана методика обеспечения точности их взаимного ориентирования. При этом происходит самоустановка сопрягаемых геликоидных поверхностей при увеличенном угле наклона осей, плавное совмещение входа резьб: детали вращаются в одном направлении вокруг своих осей с разной угловой скоростью /способ ориентирования защищен авторским свидетельством/. В этом случае допустимые линейные и угловые погрешности увеличиваются в 2,3...3,4 раза по сравнению с рекомендуемыми. Допустимые погрешности определяются по выведенным аналитическим зависимостям

$$\Delta l \leq 0,5 \Delta_{\text{omin}} + c_8 \cdot (c_2 - h) - (d - h) \operatorname{tg} \delta; \Delta \varphi \leq \arctg \Delta_{\text{omin}} \operatorname{tg} \delta / 2 / (d - h), \quad /24/$$
 где Δ_{omin} – диаметральный зазор между следом резьбы гайки и болта; c_8, c_2 – величины фасок винта и гайки; h, δ – высота и угол профиля резьбы; d – диаметр винта. В связи с возможными заусенцами и загрязнением винтовых поверхностей, особенно у мелких резьб, при исследованиях наблюдались 10% отклонения от теоретических данных.

По полученным и известным зависимостям устанавливаются нормы точности на взаимное расположение ориентируемых, сопрягаемых и базирующих поверхностей и деталей и конструкцию ПОУ.

7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСТОЙЧИВОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Управление качеством автоматического ориентирования разнотипных деталей базируется на выдерживании требуемых для конкретных условий сборки уровней показателей надежности, производительности и экономичности, т.е. определения оптимального варианта ПОУ, характеризующегося заданной интенсивностью отказов, средней длительностью единичного простоя, коэффициентами технического использования и готовности, регламентированными отдельными видами потерь и минимально возможными затратами. При этом, указанные показатели ПОУ в ГПС должны быть выше на 10...15%, чем в отдельно работающем сборочном автомате.

Разработана классификация отказов ПОУ по различным критериям. Требуемый уровень надежности ПОУ обеспечивается программным методом, который состоит из ряда этапов: формирование базового орграфа множества компоновок и их конструкторской реализации, отвечающей установленной структуре ориентирования; расчет обобщенного показателя надежности всех образующих деталей и элементов; выявление узких мест, лимитирующих надежность, установление блочных орграфов; установление величин обобщенного показателя надежности ПОУ, отдельных целевых органов и блоков, отвечающих требуемому уровню надежности ориентирования в сборочном автомате; выявление конкурирующих вариантов ПОУ с заданным уровнем надежности и их функционально-стоимостный анализ; формирование оптимального ордера надежности конструкции по установленным критериям и ограничениям; оформление конструкции ПОУ с требуемым уровнем надежности. Алгоритм автоматического выбора ПОУ оформлен в виде программы на языке ФОРТРАН-IV в среде ОС ЕС ЭВМ. Приведены численные примеры и распечатка программы.

Полученные при исследованиях надежности ПОУ эмпирические функции распределения наработки на отказ, зависимости безотказной работы и интенсивности потока отказов при автоматическом ориентировании разнотипных деталей подтвердили достаточный уровень надежности разработанных существенно новых конструкций устройств. Интенсивность отказов находилась в пределах 0,22...0,03 ч⁻¹, средняя наработка на отказ - 43,41...55,12 ч. Лимитирующим целевым органом по надежности является исполнительный механизм /44,5% зафиксированных отказов/, наиболее надежным -

устройство ПУ /24,2%/, среднее место занимает определяющее устройство.

Фактическая производительность определяется балансом производительности ПОУ. Ее уровень зависит от всех видов потерь и надежности устройства и в целом определяется производительностью сборочного автомата. К видам потерь относятся простои, связанные с выявлением и устранением отказов, выполнением наладки техническим обслуживанием. При одинаковом времени автоматического ориентирования деталей увеличение средней длительности единичного простоя приводит к большей потере производительности при $\omega = 10^{-3}$, при меньшей интенсивности отказов увеличение длительности простоя незначительно сказывается на потере производительности. Изменение производительности более выражено при меньших средних длительностях единичного простоя и времени ориентирования. Увеличение времени ориентирования деталей при тех же значениях интенсивности отказов не приводит к заметному изменению производительности. Производительность пространственного и взаимного ориентирования зависит от длины траектории, математического ожидания и вероятности перехода деталей из одного положения в другое, массы подвижных частей ПОУ, режимов обработки ОД, тормозного момента приводов, а также способа ориентирования, и может быть рассчитана по полученным аналитическим формулам.

Область экономически обоснованного использования ПОУ различных типов в основном определяется программой и номенклатурой ориентируемых деталей, стоимостью целевых органов, затратами на наладку и эксплуатацию. Техничко-экономическая эффективность ориентирования рассчитывается по критерию минимума приведенных затрат с использованием известных методик, например АН БССР, сводящейся к решению задачи на базе теории графов с математическим и программным обеспечением на ЭВМ.

Функция

$$\frac{t_{op_1}}{t_{op_2}} = \frac{A_2}{A_1} - \frac{(B_1 - B_2)A_2}{A_1} \left[\frac{1}{n_{op} t_{op_1} + (B_1 - B_2)/A_1} \right], \quad /25/$$

где t_{op_1} - время ориентирования на ПОУ двух типов; n_{op} - величина партии ориентируемых деталей; A , B - коэффициенты, зависящие от зарплат оператора, наладчика, затрат на амортизацию, наладку, ремонт, представляется гиперболой, сдвинутой по оси абсцисс на $(B_1 - B_2)/A_1$ и смещенной по ординате на A_2/A_1 с растяжением $(B_1 - B_2)A_2/A_1$. На основании полученных усредненных временных



Рис. 5. Области эффективного использования ПОУ различных типов.

сборочных автоматах, на рис. 5 приведены зависимости изменения областей эффективного применения при разном соотношении времени ориентирования и величины партии деталей. Специ-

альные ориентирующие устройства /I/ в этих условиях совершенно не пригодны. ПОУ со сменными наладками и ПУ, отличающиеся их стоимостью, от 100 до 850 руб., имеют различные области применения /2...6/. Эффективность использования сборочного робота показывает кривая 7. Из полученных зависимостей следует, что с увеличением времени ориентирования и относительной производительности целесообразно использовать ПОУ со сменными наладками. Области применения устройств с ПУ располагаются ниже соответствующих кривых. С целью повышения эффективности автоматического ориентирования разнотипных деталей на ПОУ различных типов необходимо выполнять изменение конструкции ориентируемых деталей под конкретное устройство с учетом его технологических возможностей.

8. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССАХ

Эффективность практического применения научных основ автоматического ориентирования разнотипных деталей проверялась на спроектированных на их основе, исследованных и внедренных в производство ПОУ различных конструкций сборочных автоматов. Такая работа по заказам предприятий в рамках хозяйственных договоров проводилась с 1962 г.

На базе разработанных и исследованных научных основ автоматического ориентирования разнотипных деталей создана методика инженерного проектирования высокоэффективных конструкций ПОУ и

их целевых органов, с использованием которой создано целый ряд принципиально новых конструкций, обладающих существенной новизной и промышленной полезностью, выполненных на уровне изобретений и внедренных в производство. Особую ценность имеют адаптивные устройства, позволяющие ориентировать разнотипные детали с расширенными технологическими допусками на взаимное расположение базировочных, ориентируемых и сопрягаемых поверхностей, не требующих высоких норм точности, что значительно удешевляет технологический сборочный процесс. Разработаны также существенно новые конструкции сборочных автоматов, защищенных авторскими свидетельствами, на которых проводились производственные испытания ПУ.

Основная цель исследований - проверка эффективности разработанных основ автоматического ориентирования разнотипных деталей, методики проектирования эффективных конструкций ПУ и ориентирующих переходов технологических сборочных операций.

Производственные исследования ПУ показали, что величины погрешностей позиционирования электромеханического типа находятся в пределах $0,15 \dots 0,34$ мм линейного и $1 \dots 2,4^\circ$ углового, что полностью обеспечивает нормальное протекание дальнейшего процесса. Исследование работы адаптивных ПУ взаимного ориентирования показали высокую устойчивость процесса при допустимых погрешностях расположения осей разнотипных ориентируемых деталей тел вращения в пределах $1 \dots 5$ мм для пневматического типа и до половины диаметра сопрягаемого отверстия механического, что позволяет снизить нормы точности на разрабатываемое сборочное оборудование.

Лимитирующим по обеспечению быстродействия является исполнительный механизм ПУ. Увеличение производительности при изменении угловой скорости вращения захвата $1 \dots 5$ р/с более заметно при отработке углов поворота до 180° , в пределах $180 \dots 360^\circ$ - изменение небольшое. Сохраняется закономерность увеличения производительности более развитых структур автоматического ориентирования. Наименее заметен рост производительности при переходе от структуры к структуре с ростом концентрации основных движений при условии, что их длительность меньше вспомогательных. Большее увеличение производительности характерно при концентрации основных и вспомогательных движений, что объясняется величиной перекрываемого времени различных классов и групп. Зна-

чения усредненных составляющих времени автоматического ориентирования по производственным наблюдениям составили: $t_{\text{ок}}=1,755$, $t_{\text{зах}}=1,362$, $t_{\text{пер}}=3,063$, $t_x=2,192$, $t_l=2,2$, $t_{\text{дс}}=0,895$, $t_{\text{а}}=2,83$, $t_{\text{аа}}=0,896$ с. Рекомендуемые режимы для электромеханического ПОУ: $n=25...60 \text{ мин}^{-1}$, $V_n=0,12...0,25 \text{ м/с}$. Для эксплуатируемых сборочных автоматов интенсификация режимов ориентирования нецелесообразна, т.к. ПОУ любого типа не является лимитирующим по производительности.

Время переналадки ПОУ по усредненным данным находится в пределах 6,3...15,7...26,5 мин, соответственно для простой, средней и сложной наладки. Последовательность наладки, обеспечивающая наименьшие суммарные затраты, определяется расчетом коэффициента приоритета и осуществляется в порядке его увеличения.

Исследования надежности ПОУ эксплуатируемых сборочных автоматов показали, что интенсивность отказов составила 0,022...0,3 ч^{-1} , средняя наработка на отказ - 32,5...42,94 ч., удельная суммарная продолжительность восстановления отказа - 0,0438...0,1622, удельная оперативная продолжительность техобслуживания и ремонтов - 0,0166...0,1608, коэффициенты технического использования и готовности - 0,7...0,928 и 0,721...0,958 /рис.6/.

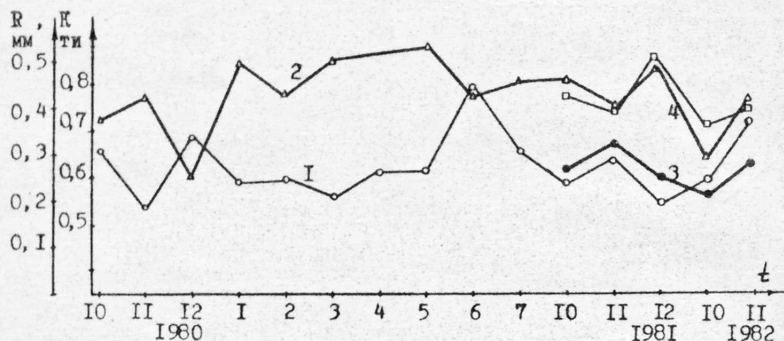


Рис.6. Изменение точности ориентирования и коэффициентов технического использования ПОУ сборочного автомата пластинчатых изделий. 1 - R, 2 - $K_{\text{ти}}$, 3, 4 - прогноз для R и $K_{\text{ти}}$.

для прогнозирования точности и надежности ПОУ различных типов рекомендуется пакет программ статистического прогнозирования на языке Р /И в среде ОС ЕС ЭВМ. При прогнозировании точности автоматического ориентирования наиболее точны результаты, полученные по методу Брауна / $p=2$ /, средняя ошибка которых состави-

ла 2,545%, а надежности - итерационному /ошибки 4,678%/. Указанные методы рекомендуются для практического применения в производстве, как оперативно и качественно обеспечивающие информацию об изменениях точности и надежности ПОУ во времени. Эти методы могут быть использованы также для прогнозирования других показателей качества ПОУ.

Производственные исследования подтвердили правильность и обоснованность решения основных вопросов научных основ автоматического ориентирования разнотипных деталей, высокие эксплуатационные качества ПОУ, что доказывает перспективность и применимость разработанных способов ориентирования и существенно новых конструкций ПОУ по критериям точности их срабатывания, быстродействия, надежности и эффективности.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Новые научные результаты, полученные в диссертации, проведенные теоретические и экспериментальные исследования разработанных способов автоматического ориентирования, принципиально новых конструкций ПОУ, сводятся в основном к следующему.

1. Для автоматического ориентирования разнотипных деталей одним из наиболее эффективных является метод программного оптимизационного моделирования, алгоритмически описывающий пространственные и временные изменения положений деталей. В качестве параметров функции цели необходимо использовать координаты ориентируемых векторов деталей, а ограничений - запрещенные пространства и способы обработки ориентирующих движений.

2. Сложность ориентирующей подсистемы, являющейся одной из основных в гибкой сборочной системе, главным образом определяется: свойствами ориентируемых деталей, способом автоматического ориентирования, уровнем гибкости.

3. Гибкость ориентирующей подсистемы оценивается коэффициентом приспособляемости по размерам, форме базирующих, ориентируемых и сопрягаемых элементов деталей, точности и режимом ориентирования. Формирование групп ориентируемых деталей выполняется непосредственно по технологическим возможностям ПОУ по алгоритму сравнения соответствующих комплексных матриц. Оценка подготовленности объектов к автоматическому ориентированию производится по значению обобщенных коэффициентов технологичности конструкции многоуровневого графа свойств. Выбор рациональ-

ного способа автоматического ориентирования выполняется по алгоритму сравнения комплексных матриц разнотипных деталей и различных способов.

4. Выбор оптимальной конструкции переналаживаемого ориентирующего устройства и оптимальной структуры процесса ориентирования производится по требуемой производительности с применением теории графов.

5. По уровню технической гибкости ориентирующей подсистемы формируются технологические модули и модульные комплекты, по матрицам технологических ограничений выбирается оптимальная технологическая компоновка. По критерию оптимизации и матрицам конструктивных ограничений устанавливается конструкционная компоновка переналаживаемого ориентирующего устройства, оптимизируются основные параметры, составляются алгоритмы и программы вычерчивания общего вида на графопостроителях ЭВМ.

6. Одним из наиболее эффективных в переналаживаемых сборочных автоматах является разработанный способ определения занимаемого положения ориентируемых деталей на автоматически переналаживаемых матричных устройствах. Размеры чувствительных элементов матриц, их число и шаг расположения определяются нахождением оптимального покрытия по разработанной программе на языке ФОРТРАН-IV в среде ОС ЕС ЭВМ. Наиболее высокие параметры характерны адаптивным определяющим матрицам, не имеющим аналогов.

7. Точность автоматического ориентирования разнотипных деталей на переналаживаемых устройствах определяется погрешностями позиционирования основных целевых органов, рассчитываемых по матричным уравнениям. Допустимая погрешность положения деталей на матричном определяющем устройстве при дискретном ориентировании определяется размерами фотопреобразователей, шагом их расположения, величиной и направлением освещенности, при непрерывном – скоростью движения деталей, погрешностью их формы, задержкой считывания сигналов, величина которой составляет 0,5...2,6мм.

8. Применение разработанных способов и переналаживаемых устройств взаимного ориентирования расширяет допустимые погрешности положения собираемых разнотипных деталей, которые составляют для пневматических устройств 1...5мм, механических – до 10мм и более, резьбовых деталей – в 2,3...3,4 раза. Полученные данные позволяют снизить предъявляемые требования к точности ориентации

разнотипных деталей и однозначно доказывают перспективность разработанных способов и переналаживаемых ориентирующих устройств с позиций точности.

9. Коэффициенты технического использования и готовности разработанных переналаживаемых ориентирующих устройств по производственным данным находятся в пределах 0,712...0,93. Производительность определяется выбранным способом автоматического ориентирования, траекторией движения деталей, математическим ожиданием вероятности перехода из одного положения в другое, режимами отработки ориентирующих движений, массой подвижных частей переналаживаемого устройства и составляет 35...250 шт./мин при продолжительности наладки 6,7...63 мин.

10. Разработанная методика инженерного программного прогнозирования точности и надежности переналаживаемых ориентирующих устройств позволяет, при использовании соответственно методов Брауна и итерационного, с погрешностью 2,5% и 3,7% получать значения на пять временных единиц /прогнозировались пять месяцев работы/.

11. При стоимости устройств до 900 руб., использование их экономично при партии 350...500 шт., а адаптивных - 120. Полученные показатели приемлемы для большинства сборочных автоматов, что доказывает работоспособность и перспективность переналаживаемых устройств с точки зрения их надежности, производительности и экономической эффективности.

Результаты исследований внедрены на заводах и в СКБ с общим экономическим эффектом 631 тыс. руб., полученным за счет сокращения трудовых и материальных ресурсов при реализации разработанных технологических процессов, способов автоматического ориентирования, сборочного оборудования и оснащения. Более 50 предприятий и организаций запросили материалы по полученным результатам. Предполагаемый экономический эффект - 2,49 млн. руб. Переналаживаемые ориентирующие устройства неоднократно демонстрировались на отраслевых выставках, ВДНХ УССР и СССР, где были удостоены дипломами третьей и второй степеней.

Основные положения диссертации опубликованы в 132 печатных работах, среди которых следующие:

1. Шабайкович В.А. Ориентирующие устройства с программным управлением. - К.: Техніка, 1981. - 164 с.

2. Шабайкович В.А. Программное ориентирование деталей. - Львов: Вища школа, 1983.- 168с.

3. А.с.193845 /СССР/. Способ соединения резьбовых деталей /А.Н.Рабинович, В.С.Матвейчук, В.А.Шабайкович.- Опубл.в Б.И., 1967, № 7.

4. А.с.228491 /СССР/. Устройство для автоматической ориентации /В.А.Шабайкович.- Опубл.в Б.И., 1969, № 31.

5. А.с.465309 /СССР/. Пневматическое ориентирующее устройство /В.А.Шабайкович.- Опубл. в Б.И., 1975, № 12.

6. А.с.623181 /СССР/. Устройство для ПУ положением исполнительного механизма /В.А.Шабайкович.- Опубл.в Б.И., 1978, № 33.

7. А.с.635507 /СССР/. Устройство для определения положения деталей /В.А.Шабайкович.- Опубл.в Б.И., 1979, № 11.

8. А.с.785924 /СССР/. Автоматическая роторная линия для сборки радиочастотных соединителей /В.А.Шабайкович и др. - Опубл.в Б.И., 1980, № 45.

9. А.с.916217 /СССР/. Устройство для ориентации и сборки деталей типа вал-втулка /В.А.Шабайкович.- Опубл.в Б.И., 1982, №12.

10. А.с.1068703 /СССР/. Фотоэлектронное определяющее устройство /В.А.Шабайкович.- Опубл.в Б.И., 1984, № 3.

11. Шабайкович В.А. Программное ориентирование деталей. - Механизация и автоматизация производства, 1976, № 8.- С.29-30.

12. Шабайкович В.А. Исследование структуры операций пространственного ориентирования деталей //Автоматизация производственных процессов: республ.сб.- Львов:Вища шк., 1977.- Вып.16. - С.71-78.

13. Шабайкович В.А. Структурный анализ автоматического ориентирования. - Автоматизация сборочных процессов в машиностроении. - М.:Наука, 1979,- С.66-74.

14. Шабайкович В.А. Ориентирование разнотипных деталей на промышленных роботах //Автоматизация производственных процессов: республ.сб.- Львов: Вища шк., 1982.- Вып.21.- С.68-95.

15. Шабайкович В.А. Выбор оптимальных компоновок гибких ориентирующих устройств //Автоматизация производственных процессов: республ.сб.- Львов: Вища шк., 1986.- Вып.26.- С.III-II7.

16. V. Shabajkowich. Optymalizacja konstrukcji uniwersalnych orientujacych urzadzeń na podstawie modelowania funkcjonalnego // Sesja naukowo-techniczna.-Rzeszów: 1981. -S.199-211.