

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.9.048:681.7.064

СТЕПАНОВ
Дмитрий Александрович

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ
ДВУХКООРДИНАТНЫХ ПОЗИЦИОНЕРОВ ДЛЯ ГИБКОГО
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Специальность 05.27.06 – “Технология и оборудование для
производства полупроводников,
материалов и приборов электронной
техники”

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2002

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Карпович С.Е. – Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кафедра высшей математики

Научный консультант: доктор технических наук Русецкий А.М. – Министерство промышленности Республики Беларусь

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Сокол В.А. – Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кафедра микроэлектроники

кандидат технических наук, доцент Самойленко А.В. - Белорусская государственная политехническая академия, кафедра «Робототехнические системы»

Оппонирующая организация: НПО «Интеграл», г. Минск

Защита состоится « 23 » апреля 2002 года в 14⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.03 при Учреждении образования «Белорусский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время особенно остро ставится задача дальнейшей интенсификации производства, повышения его эффективности и обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции. Достижение этих целей возможно лишь при осуществлении существенного роста производительности технологического оборудования и наиболее полной его автоматизации. Эффективным средством реализации указанного является широкое применение гибкого автоматизированного оборудования, включая гибкие производственные системы (ГПС) и гибкие производственные комплексы (ГПК), управляемые от ЭВМ и работающие по принципу гибко-перенастраиваемых технологий.

Достижения микроэлектроники и связанные с ними успехи микропроцессорной управляющей техники открыли возможность широкого внедрения достаточно совершенных и оперативных методов проектирования и управления на всех уровнях и приблизили технику управления непосредственно к объекту производства. Это обеспечило создание интегрированных электро-механических устройств – координатных позиционеров для систем перемещений, элементной базой которых являются: электромагнитные модули движения, обеспечивающие без механических трансмиссий линейные, угловые, а также сложные движения в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат; электронные модули управления (контроллеры), реализующие при микропроцессорном управлении любые требуемые движения с глубоким редуцированием и масштабированием.

Таким образом, электромагнитные модули движения, komponуемые в линейные шаговые двигатели (ЛШД) для координатных позиционеров, и соответствующие цифровые системы управления позволяют обеспечить реализацию сложных многокоординатных и точно согласованных перемещений с широким варьированием параметров движения. Они характеризуются модульностью, однотипностью независимо от вида движений и управления, возможностью работы по программе и построения как разомкнутых систем, так и систем с обратной связью в зависимости от назначения оборудования.

Особая роль и возможности двухкоординатных планарных позиционеров в спецтехнологическом автоматизированном оборудовании, полная их автономность по питанию и управлению, способность комбинирования их с другими позиционерами такого же типа на одном статоре для эффективного функционирования в едином рабочем пространстве предопределили предложенный в диссертации подход к построению системы перемещений для гибкого автоматизированного оборудования.

При этом, согласно предложенного подхода, система перемещений гибкого автоматизированного оборудования конфигурируется из двухкоординатных позиционеров с жестким программным согласованием в единой системе координат всех производственных и транспортных движений на основе алгоритмов совместной

работы и разработанного программного обеспечения, которое позволяет: задавать программу работы каждого инструмента в отдельности, взаимодействия отдельных инструментов друг с другом, передавать данные от одного рабочего места к другому.

Таким образом, исследование двухкоординатного планарного позиционера, как базового элемента систем перемещений гибкого производственного оборудования разной степени интеграции, получение математической модели с целью определения предельно возможных характеристик и оптимизации конструктивных параметров, разработка программного обеспечения автономной системы управления двухкоординатным позиционером, анализ и разработка алгоритмов совместной работы двух и более двухкоординатных позиционеров, расположенных на одном статоре, и соответствующего программного обеспечения является важной и весьма актуальной научной задачей имеющей непосредственное практическое значение как для микроэлектроники, так и для других инженерно-технических применений.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Исследования и разработки, отраженные в диссертационной работе непосредственно связаны с долговременной программой научно-исследовательских работ, выполнявшихся в рамках совместной лаборатории математического моделирования технических систем, учрежденной Государственным научно-производственным концерном точного машиностроения «Планар» и Белорусским государственным университетом информатики и радиоэлектроники, лаборатории САПР завода «Планар-ТМ» по разработке и созданию координатных систем на основе ЛШД для сборочного технологического оборудования производства изделий электронной техники.

Ряд задач по разработке прецизионных координатных систем для специального сборочного технологического оборудования микроэлектроники решался в рамках Государственных научно-технических программ «Белэлектроника» - раздел: «Разработать и освоить в серии цифровых, цифро-аналоговых, аналоговых и дискретных полупроводниковых приборов, комплекты специального технологического оборудования для приоритетных отраслей промышленности и бытовой техники» (1997-1999 гг.)

Представленная работа также связана с Государственной научно-технической программой «Информационные технологии», утвержденной постановлением Совета Министров от 28.02.2001 г. № 141, задание 06.01 «Разработать компьютерную систему контроля печатных плат» (2001-2005 гг.)

Работа выполнялась также по государственным темам ГБЦ №99-3070 "Разработка и исследование систем управления многокоординатным шаговым приводом на основе алгоритмов калибровки и квазизамкнутого управления", ГБЦ №98-7009 "Разработка новых принципов и методов построения управляющих систем для многоуровневых координатных устройств автоматизированного технологического оборудования", ГБЦ №00-3133 "Математическое моделирование систем квазизамкнутого управления прецизионного многокоординатного шагового привода", а также в рамках двух договоров о международном научно-техническом

сотрудничестве с Европейским центром лазерной техники LST Laser & Strahl Technik (г. Вена, Австрия) и Белостокским техническим университетом (г. Белосток, Польша)

Цель и задачи исследования. Цель работы состоит в разработке подхода к построению системы перемещений для гибкого автоматизированного оборудования на основе многоцелевого использования двухкоординатных планарных позиционеров, включающего математические модели позиционера, алгоритмы совместной работы нескольких позиционеров на одном статоре, программное обеспечение локальной системы управления позиционера и системы перемещений гибкого автоматизированного оборудования в целом.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

1. Анализ современного состояния и тенденций развития гибкого автоматизированного оборудования, включая ГПС и ГПК, с целью разработки подхода к построению систем перемещений на базе двухкоординатных позиционеров на ЛШД.

2. Разработка математических моделей двухкоординатных позиционеров на базе линейных шаговых двигателей.

3. Проведение теоретических и экспериментальных исследований с целью апробации результатов математического моделирования.

4. Разработка алгоритмов совместной работы двухкоординатных позиционеров, расположенных на одном статоре.

5. Разработка программного обеспечения для системы управления двухкоординатным позиционером и гибким производственным комплексом, конфигурируемым из двухкоординатных позиционеров.

6. Реализация результатов работы в автоматизированном оборудовании для производства изделий электронной техники, четырехкоординатном планарном модуле для тестера многослойных печатных плат, системе лазерной гравировки на базе двухкоординатного позиционера и гибком производственном комплексе лазерной обработки TurboPlane.

Объект и предмет исследования. В соответствии с поставленной целью, объектом теоретических и экспериментальных исследований выбран двухкоординатный позиционер на базе ЛШД. Предметом исследования является подход к построению систем перемещений гибкого производственного оборудования для интегрированных прецизионных технологий на основе многоцелевого использования двухкоординатных позиционеров, обеспечивающих одновременное выполнение множества производственных операций в едином рабочем пространстве.

Гипотеза. Двухкоординатный позиционер на основе линейного шагового привода на магнитовоздушной опоре с микропроцессорной системой управления и соответствующим программным обеспечением может быть выбран в качестве базового элемента для построения системы перемещений гибкого автоматизированного оборудования, так как при этом полностью обеспечивается построение такой системы из однотипных простых первичных модулей с заранее

сформированными механическими характеристиками, статическими, динамическими и точностными показателями и программным обеспечением для локальной системы управления. При этом, обеспечивается модульность конструкции, независимость локальной системы управления, высокая гибкость при использовании двух и более двухкоординатных позиционеров за счет программного согласования слитых воедино технологических и транспортных перемещений в единой системе координат.

Методология и методы проведенного исследования. Методология разработки подхода к построению системы перемещений для гибкого автоматизированного оборудования основана на многоцелевом использовании двухкоординатных планарных позиционеров с жестким программным согласованием в единой системе координат всех производственных и транспортных движений.

При разработке математических моделей для расчета статических и динамических характеристик двухкоординатного позиционера были использованы методы аналитической механики, теории электрических машин, электромагнитного преобразования энергии, методы анализа и синтеза исполнительных механизмов, реализующих требуемое программное движение, аналитические и численные методы решения дифференциальных уравнений и их систем, разработанные алгоритмы и программы для выполнения численных расчетов на ЭВМ.

Экспериментальные исследования проведены на комплексе прецизионного измерительного оборудования ГНПКТМ "Планар" с использованием статистических методов регистрации и обработки наблюдаемых в эксперименте величин.

При исследовании взаимодействия двух и более двухкоординатных позиционеров на одном статоре были использованы методы аналитической геометрии и векторной алгебры.

При разработке программного обеспечения локальной системы управления координатного позиционера и гибкого производственного комплекса в целом были использованы методы структурного и объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна и значимость полученных результатов определяется комплексным подходом к решению задач, связанных с разработкой подхода к построению систем перемещений гибкого производственного оборудования и ГПС прецизионных интегрированных технологий на основе многоцелевого использования двухкоординатных позиционеров.

Наиболее значимые научные результаты заключаются в следующем:

1. Предложен и научно обоснован подход к построению систем перемещений для гибкого автоматизированного оборудования на основе многоцелевого использования двухкоординатных планарных позиционеров с жестким программным согласованием в единой системе координат всех производственных и транспортных движений, с возможностью работы при любой ориентации в пространстве с точностью ± 10 мкм в структурах управления разомкнутого типа и $\pm 2 \dots \pm 3$ в системах квазизамкнутого типа.

2. Предложена аналитическая модель взаимодействия зубцовых зон индуктора и статора двухкоординатного планарного позиционера, которая позволила получить соотношение энергии поворота, тяговых сил, синхронизирующих моментов с оценками статических и динамических показателей для различных конструкций и их модификаций с учетом угловых смещений подвижной части позиционера.

3. Поставлена и исследована задача совместной работы нескольких двухкоординатных позиционеров, расположенных на одном статоре, на основе разработанных алгоритмов анализа их возможных коллизий.

4. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для локальной системы управления двухкоординатным позиционером с программной коррекцией ошибки позиционирования и учетом возможных коллизий с другими позиционерами, расположенными на одном статоре системы перемещений гибкого автоматизированного оборудования на основе использования нескольких двухкоординатных позиционеров.

5. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для центрального контроллера, позволяющее осуществлять программное согласование в единой системе координат всех технологических и транспортных движений.

Практическая значимость полученных результатов.

1. Предложенный подход к построению систем перемещений направлен на создание нового конкурентоспособного гибкого автоматизированного оборудования для микроэлектроники и других приложений, основанного на интегрировании многих операций в едином рабочем пространстве за счет конфигурирования его системы перемещений из однотипных двухкоординатных позиционеров с заранее обеспеченными динамическими и точностными характеристиками и независимой локальной системой управления.

2. Разработанные математические модели двухкоординатных позиционеров были включены в САПР линейного шагового привода, используемую на ГНПКТМ «Планар» при разработке координатных систем для прецизионного технологического оборудования.

3. Разработанные алгоритмы и программное обеспечение для системы управления двухкоординатным позиционером и многокоординатными системами на его основе были использованы при создании гибкого производственного комплекса TurboPlane.

4. Разработанное в виде драйвера принтера программное обеспечение лазерной гравировальной системы на основе двухкоординатного позиционера позволяет осуществлять печать цветных графических изображений из любых Windows-приложений, с возможностями назначения определенной мощности лазера каждому цвету, печати растровых изображений, посредством разложения раstra в линии, заданием параметров и автоматическим генерированием трапециидального профиля гравироваемого изображения, гравирования инвертированного и зеркального изображений, а также двух взаимодополняющих друг друга матриц на основе

нарисованного изображения.

5. Программное обеспечение на основе предложенного алгоритма анализа коллизий было использовано на предприятии «Рухсервомотор» при разработке и создании автоматического тестера печатных плат PCB, основанного на одновременной совместной работе четырех двухкоординатных планарных позиционеров, что позволило создать систему перемещений с точностью позиционирования ± 10 микрометров, повторяемостью ± 3 микрометра, скоростью перемещения 0,5 м/с, ускорением 20 м/с² и обеспечить повышение производительности в 1,5-2 раза.

6. Математические модели, алгоритмы и программы были внедрены в учебный процесс в курсах лекций, при проведении практических занятий и лабораторных работ, курсовых и дипломных проектов по специальностям: «Электронное машиностроение», «Автоматическое управление в технических системах», «Вычислительные машины, системы и сети».

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Подход к построению системы перемещений для гибкого автоматизированного оборудования на основе многоцелевого использования двухкоординатных планарных позиционеров с жестким программным согласованием в единой системе координат всех производственных и транспортных движений, с возможностью работы при любой ориентации в пространстве с точностью ± 10 мкм в структурах управления разомкнутого типа и $\pm 2 \dots \pm 3$ в системах квазизамкнутого типа.

2. Аналитическая модель взаимодействия зубцовых зон индуктора и статора двухкоординатного планарного позиционера, которая позволила получить соотношение энергии поворота, тяговых сил, синхронизирующих моментов с оценками статических и динамических показателей для различных конструкций и их модификаций с учетом угловых смещений подвижной части позиционера. В результате, выявленная физическая картина силового взаимодействия в планарном позиционере позволила обосновать его динамическую модель и предложить раздельное управление плечами X и Y модуля движения для устранения влияния увода подвижной части при ее поворотах и целенаправленного перераспределения общей электромагнитной силы на тяговую и поворотную.

3. Постановка и решение задачи совместной работы двух и большего количества планарных позиционеров с заранее сформированными силовыми и точностными характеристиками и независимой локальной системой управления, расположенных на одном статоре, на основе алгоритмов анализа их возможных коллизий, когда каждый позиционер интерпретируется геометрическим местом в виде подвижного многоугольника.

4. Программное обеспечение для системы управления двухкоординатным позиционером и многоинструментальным комплексом в целом, построенным на основе системы перемещений, конфигурируемой из необходимого количества двухкоординатных планарных позиционеров с программной коррекцией ошибки

перемещения до 2...3 мкм, использованное при создании: автоматических установок зондового контроля и автоматов присоединения проволочных выводов, выпускаемых на ГНПК ТМ «Планар», гибкого производственного комплекса «TurboPlane», разработанного совместно БГУИР, ГНПК ТМ «Планар», LST (г. Вена, Австрия), тестера печатных плат РСВ (СП «Рухсервомотор»).

5. Гибкий производственный комплекс лазерной обработки TurboPlane, в части концепции построения и программного обеспечения контроллера двухкоординатного планарного позиционера SoftStep и контроллера верхнего уровня LST Controller, обеспечивающего программное согласование движений позиционеров в единой системе координат в соответствии с выполняемой технологической операцией.

Личный вклад соискателя. В диссертации представлены результаты работ, которые были выполнены автором самостоятельно и в соавторстве. Большинство из них автор был инициатором, разрабатывал математические модели и методики исследований, проводил расчеты и эксперименты, осуществлял обработку, анализ и обобщение полученных результатов. Определение целей и задач теоретической и экспериментальной частей исследования проводилось совместно с научным руководителем д.т.н., проф. С.Е. Карповичем. Интерпретация и обобщение полученных результатов на гибкое автоматизированное оборудование микроэлектроники и другие приложения выполнялось совместно с научным консультантом д.т.н. А.М. Русецким. В работах [1,7,8,9,12] опубликована, разработанная совместно с к.т.н. Ю.С. Межинским, система квазизамкнутого управления многокоординатным приводом на основе программной коррекции ошибки позиционирования. В остальных работах, написанных автором совместно, соавторы принимали участие в обосновании подходов к решению поставленных задач, частично выполняли программную реализацию алгоритмов и экспериментальные исследования.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты работы были опубликованы в научных изданиях и доложены, обсуждены и опубликованы в трудах и тезисах международных и республиканских симпозиумов, научно-технических конференций и семинаров. Среди них: 2nd Polish-German Workshop "Tools of Mechatronics". – Ilmenau, Germany, 1998; 2-й Белорусский конгресс по теоретической и прикладной механике "Механика-99", 28-30 июня 1999 г.; конференция "Новые технологии изготовления многокристалльных модулей", Минск - Нарочь, 25-29 сентября 2000 г.; конференции "Наука и технологии на рубеже XXI века", Минск, БГПА, 18-22 сентября 2000 г.; EPE International Conference, Koshice (Slovakia), September 5-7, 2000; International Conference on Engineering and Technological Sciences 2000, Beijing (China), October 10-13, 2000; 5-й Международный молодежный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке", г. Харьков (Украина), 24-26 апреля 2001 г.; VII Международная конференция "Лазерные и лазерно-информационные технологии: Фундаментальные проблемы и приложения" (ILLA-2001), Суздаль-Владимир-Шатура (Россия), 23-25 июня 2001 г.; Белорусско-польский научно-

практический семинар, г.Белосток (Польша), 11-13 сентября 2001 г.; VI международная научно-техническая конференция «Современные средства связи», Минск-Нарочь, сентябрь 2001 г. Кроме того, результаты работы были представлены на ряде выставок, включая: Международную выставку лазерной техники Мюнхен-1997, 1999, 2001; EuroBlech 1996 и 1998, Ганновер; Eurobot 1996 Франкфурт; Productronica 1997, Мюнхен; 4-ю международную специализированную выставку «Металлообработка-2000», Минск, 2000; 5-ю международную специализированную выставку «Металлообработка-2001», Минск, 2001; Международную выставку «Минский салон оборонной промышленности» Минск, 2001; Выставку разработок в рамках 14th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics, Кошице (Словакия), 2001; Ганноверскую международную выставку-ярмарку SEBIT-2001; Выставку "Достижения белорусской науки – производству", НАНБ, 4-10 декабря 2001 г.

Опубликованность результатов.

По теме диссертации опубликовано 26 работ, в том числе 6 статей в научно-технических журналах, 6 статей в научно-технических сборниках, 8 статей в материалах международных конференций, 6 тезисов докладов в сборниках трудов научных конференций. Общее количество опубликованных материалов составило 115 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы составляет 177 страниц, включая основную часть на 99 страницах, 69 иллюстраций на 50 страницах, 3 таблицы на 3 страницах и приложений на 17 страницах. Список использованных источников включает 88 наименований на 8 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В *общей характеристике работы* обоснована актуальность и новизна рассматриваемой темы, сформулированы цели и основные задачи исследования, представлены основные положения диссертации выносимые на защиту.

В *первой главе* на основе анализа научно-исследовательских работ, материалов патентной и периодической литературы, на основе выполненного анализа автоматизированного оборудования предложен подход к построению систем перемещений гибкого автоматизированного оборудования на основе многоцелевого использования двухкоординатного планарного позиционера, которая рассматривает позиционер как базовый элемент построения таких систем, а также как функционально-законченный объект, состоящего из механической, аппаратной и программной составляющих.

Реализация предложенного подхода позволяет осуществить блочно-модульное построение систем перемещений гибкого автоматизированного оборудования на основе двухкоординатного планарного позиционера с заранее сформированными силовыми и точностными характеристиками и автономной системой управления. Это

предельно облегчает конфигурирование многокоординатной системы перемещений автоматизированного оборудования для конкретного назначения. При этом, жесткое программное согласование в единой системе координат всех производственных и транспортных перемещений не разделяет их, как в обычной ГПС и РТК, а сливает воедино. Использование алгоритмов программной коррекции погрешности перемещения по координатам X,Y и встраивание их в локальную систему управления координатным позиционером позволяет повысить точность позиционирования до 5 мкм и избежать при этом оптических датчиков положения.

В главе также представлен анализ аппаратно-программных средств системы управления двухкоординатным позиционером и многокоординатных систем перемещений автоматизированного оборудования на его основе. Анализ задач, выполняемых системой управления двухкоординатным позиционером, показал, что предпочтительной элементной базой при ее построении являются процессоры цифровой обработки сигналов (ПЦОС) для выполнения низкоуровневых программ управления линейным шаговым двигателем и реализации расчетов в реальном времени, и транспьютеры для решения задач высокого уровня, таких как декодирование входного языка управления двухкоординатным позиционером и расчет траекторий его перемещения. С учетом опыта, накопленного в лаборатории ММТС БГУИР, в качестве элементной базы при разработке аппаратной части локальной системы управления двухкоординатным позиционером были выбраны ПЦОС серии ADSP-21xx фирмы Analog Devices, а также транспьютеры серий T-425 и T-800 фирмы SGS Thomson Microelectronics.

Разработка предложенного подхода предполагает углубленное изучение всех трех составляющих координатного позиционера, включая разработку математической модели координатного позиционера, аппаратного и программного обеспечения локальной системы управления координатным позиционером, изучения вопросов, связанных с совместной работой нескольких координатных позиционеров, расположенных на одном статоре.

На основании проведенного анализа сформулированы цели и задачи исследования, представленные в общей характеристике работы.

Во второй главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований двухкоординатных позиционеров на базе ЛШД. Для оценки и сравнительного анализа динамических и статических возможностей этих устройств используются показатели статической и динамической добротности, которые определяются соответственно по формулам

$$\alpha = P_{\max} / S_u, \quad \beta = P_{\max} / (m_u + m_n),$$

где P_{\max} - максимальное синхронизирующее усилие, развиваемое позиционером, S_u - суммарная поверхность взаимодействия индуктора и статора, m_u - масса индуктора, m_n - масса нагрузки.

На основании общей теории шагового электропривода и электромагнитного преобразования энергии получено математическое описание двухкоординатного позиционера с учетом угла поворота индуктора. Система из семи уравнений отражает

особенности физических процессов происходящих в планарном двухкоординатном шаговом электроприводе. Анализ этой модели показывает, что при возникновении поворотной координаты линейные перемещения оказываются связанными и зависят от величины этого поворота. Изменение поворота приводит к изменению намагничивающих токов, создающих синхронизирующий момент стабилизирующий положение индуктора.

Анализ статических сил планарного позиционера (рис. 1), координатные модули X, Y которого симметричны относительно центра масс показал, что в общем случае тяговые силы каждого плеча имеют распределенный характер, который приводит к паре сил, каждая из которых зависит от тока фазной обмотки и динамической ошибки.

С учетом соотношений, связывающих электрическое смещение фазового угла с фактической геометрией планарного X, Y позиционера получим

$$F_1 = F_m \sin(\gamma - x + \arcsin \varphi), \quad F_2 = F_m \sin(\gamma - x - \arcsin \varphi),$$

где F_1, F_2 - тяговые силы соответственно в первом и втором плече, F_m - максимальное значение синхронизирующего усилия, $\gamma - x$ - динамическая ошибка, φ - угол разворота индуктора.

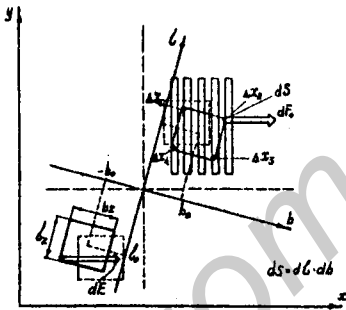


Рис. 1. Электромагнитные силы модуля с учетом распределенной геометрии

управлением.

В диссертации приведены результаты экспериментальных исследований координатных позиционеров на основе ЛШД, которые показывают высокую сходимость результатов математического моделирования и эксперимента. Для проведения экспериментальных исследований координатных позиционеров на ЛШД был создан планарный двухкоординатный X, Y -позиционер с возбуждением от постоянных магнитов на аэростатической опоре, состоящий из индуктора и статора. Результаты теоретических и экспериментальных исследований предназначены для внедрения в практику проектирования гибкого автоматизированного оборудования для прецизионных интегрированных технологий.

В третьей главе проведен анализ проблемы организации совместной работы

Учет распределенной геометрии зубцовых структур индуктора позволил разработать математическую модель расчета синхронизирующего усилия двухкоординатного позиционера с учетом изменения угла разворота. Учет распределенной геометрии позволил также проанализировать область допустимой энергии разворота, провести сравнительный анализ и оценку различных конструктивных модификаций, отличающихся компоновкой распределенных зубцовых зон индуктора и раздельным их

нескольких координатных позиционеров на одном статоре, принципов и алгоритмов планирования их взаимных перемещений.

Проведенный анализ позволил сформулировать основные требования к структуре программного обеспечения системы перемещений гибкого производственного комплекса, основанного на совместной работе двух и большего количества координатных позиционеров, и разработать алгоритм определения и предотвращения коллизий между координатными позиционерами, перемещающимися на одном статоре. Разработанный алгоритм основан на том, что каждый позиционер представляется его проекцией на рабочую плоскость статора в виде геометрического места, ограниченного подвижным многоугольником. В частном случае, без учета геометрии кабелей электропитания и шлангов подачи воздуха, геометрические места представляют собой четырехугольники (рис. 2), или многоугольники (рис. 3) в общем случае.

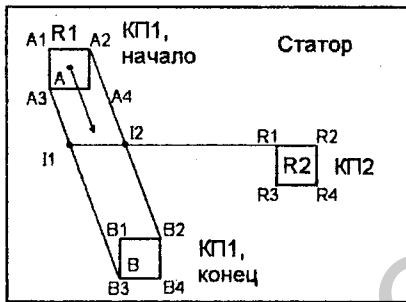


Рис. 2. Анализ возможности столкновения двух позиционеров на одном статоре

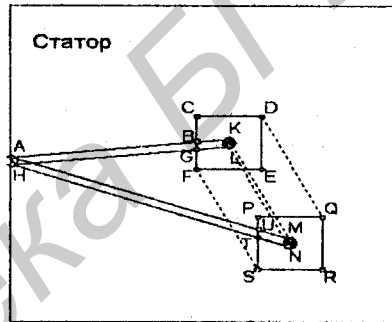


Рис. 3. Представление двухкоординатного позиционера в виде многоугольника

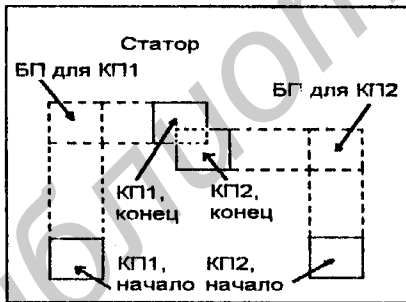


Рис. 4. Использование безопасных позиций (БП) для разрешения тупиковых ситуаций

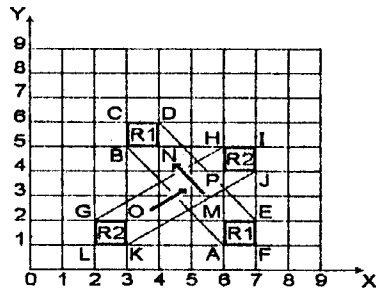


Рис. 5. Геометрическая модель для анализа коллизий двух позиционеров

В диссертации также описан метод использования безопасных позиций для разрешения тупиковых ситуаций (рис. 4), который заключается в определении позиций, через которые априори не проходят траектории движения ни одного из координатных позиционеров. Эти позиции задаются разработчиком системы при программировании определенного технологического процесса.

Для иллюстрации разработанного алгоритма анализа коллизий рассмотрим совместную работу двух планарных позиционеров R1 и R2 при их движении между начальными и конечными положениями в соответствии с рис. 5. На основании

| Отрезок | Уравнение сегмента | Пределы по X, Y | Отрезок | Уравнение сегмента | Пределы по X, Y |
|---------|--------------------|---|---------|--------------------|---|
| A-B | $Y = -4/3X + 9$ | $3 \leq X \leq 6,$ $1 \leq Y \leq 5$ | L-K | $Y = 1$ | $2 \leq X \leq 3$ |
| A-M | $X = 6$ | $1 \leq Y \leq 2$ | K-O | $X = 3$ | $1 \leq Y \leq 2$ |
| B-C | $Y = 3$ | $5 \leq X \leq 6$ | K-J | $Y = 3/4X - 1.25$ | $3 \leq X \leq 7,$ $1 \leq Y \leq 4$ |
| E-M | $Y = 2$ | $6 \leq X \leq 7$ | G-O | $Y = 2$ | $2 \leq X \leq 3$ |
| C-D | $Y = 6$ | $3 \leq X \leq 4$ | J-I | $X = 7$ | $4 \leq Y \leq 5$ |
| D-N | $X = 4$ | $5 \leq Y \leq 6$ | H-P | $X = 6$ | $4 \leq Y \leq 5$ |
| D-E | $Y = -4/3X + 1.33$ | $4 \leq X \leq 7,$ $2 \leq Y \leq 6$ | H-I | $Y = 5$ | $6 \leq X \leq 7$ |
| B-N | $Y = 5$ | $3 \leq X \leq 4$ | J-P | $Y = 4$ | $6 \leq X \leq 7$ |
| E-F | $X = 7$ | $1 \leq Y \leq 2$ | H-G | $Y = 3/4X + 1/2$ | $2 \leq X \leq 6,$ $2 \leq Y \leq 5$ |
| A-F | $Y = 1$ | $6 \leq X \leq 7$ | G-L | $X = 2$ | $1 \leq Y \leq 2$ |

геометрической модели, представленной на рис. 5, формируется таблица уравнений сегментов прямых, а также пределов по X и Y для каждого уравнения.

В качестве примера рассмотрим математическую модель сравнения сегментов АВ и GH. Условия пересечения сегментов, согласно рис. 5 определяют совместность комплексной системы уравнений и неравенств следующего вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y = -4/3X + 9 \\ Y = 3/4X + 0.5 \\ \left\{ \begin{array}{l} 3 \leq X \leq 6 \\ 1 \leq Y \leq 5 \end{array} \right. , \text{ для } AB \\ \left\{ \begin{array}{l} 2 \leq X \leq 6 \\ 2 \leq Y \leq 5 \end{array} \right. , \text{ для } GH \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} Y = 3/4X + 0.5 \\ 3/4X + 0.5 = -4/3X + 9 \\ 3 \leq X \leq 6 \\ 2 \leq Y \leq 5 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} X = 4.08 \\ Y = 3.56 \\ 3 \leq X \leq 6 \\ 2 \leq Y \leq 5 \end{array} \right.$$

Наличие точки пересечения между сегментами АВ и GH свидетельствует о том, что при заданном движении позиционеров возможно столкновение, которое необходимо учитывать при задании программы движения.

По уравнениям и неравенствам этой таблицы строятся алгоритмы избежания столкновений координатных позиционеров при их заданных перемещениях путем сравнения и анализа всех отрезков анализируемых в смысле возможных коллизий позиционеров. Разработанные алгоритмы были использованные при создании программного обеспечения системы управления ГПК лазерной обработки TurboPlane, и программного обеспечения системы перемещений автоматизированного тестера РСВ контроля печатных плат.

В четвертой главе представлены результаты по разработке программного обеспечения для локальной системы управления двухкоординатным позиционером и гибким производственным комплексом, конфигурируемым из двухкоординатных

позиционеров.

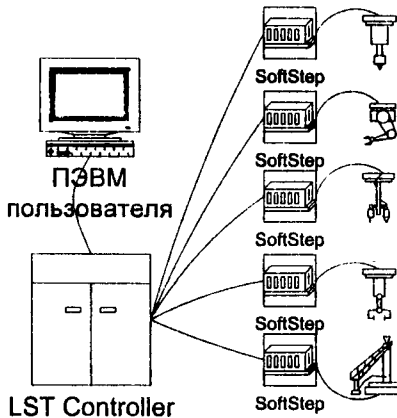


Рис. 6. Структура системы управления гибкого многоинструментального комплекса

пользователя.

Разработанные уровни управления комплексом включают: уровень управления отдельным двухкоординатным позиционером, уровень управления комплексом в целом, уровень взаимодействия комплекса с ПЭВМ оператора. В соответствии с уровнями управления выделены модули, составляющие систему. Каждый из вышеперечисленных уровней имеет собственное программное обеспечение.

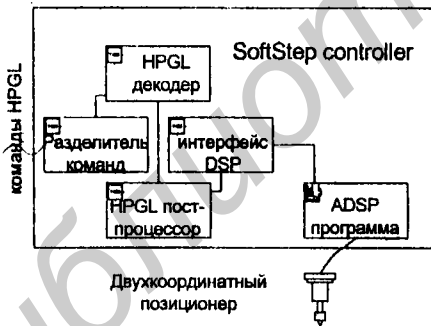


Рис. 7. Структурная схема процессов контроллера SoftStep

движения в виде кубических сплайнов и посылает коэффициенты сплайнов в ПЦОС (рис. 7). Непосредственное управление координатным позиционером осуществляет ПЦОС ADSP-2100, находящийся в контроллере SoftStep. Программа управления координатным позиционером работает в реальном времени. За цикл работы программы ПЦОС рассчитывает управляющие воздействия, выдаваемые через ЦАП,

Структура системы управления координатными перемещениями гибкого автоматизированного многоинструментального комплекса показана на рис. 6. Согласно этой схеме, каждый двухкоординатный позиционер управляется контроллером SoftStep, построенным на базе микропроцессорной системы управления, содержащей транспьютер, процессор цифровой обработки сигналов и микросхему программируемой логики. Координация совместной работы отдельных двухкоординатных позиционеров производится специальным контроллером LST Controller, который обеспечивает также и интерфейс с управляющей ПЭВМ

Уровень управления отдельным координатным позиционером реализуется контроллером SoftStep, задачами которого являются распознавание и декодирование входного языка HPGL и управление координатным позиционером в режиме реального времени. Декодер языка HPGL расширен для возможности обработки растровых изображений, которая производится путем разложения растров в линии. Транспьютер декодирует инструкции HPGL, рассчитывает траекторию

проводит измерения по системе обратной связи и рассчитывает и производит коррекцию перемещения. Точность позиционирования составляет порядка $\pm 2... \pm 3$ мкм. Необходимую для расчетов информацию процессор получает от транспьютера контроллера SoftStep.

Уровень управления комплексом в целом реализуется контроллером LST Controller, разработанное программное обеспечение которого позволяет осуществлять программное согласование в единой системе координат всех производственных и транспортных движений, предоставляет удобный интерфейс с пользователем и возможность управления комплексом с персонального компьютера. Ключевым компонентом ПО этого уровня является процесс общего управления координатными позиционерами с установленными на них инструментами (процесс Control), включающий блок анализа возможных коллизий между координатными позиционерами. Промежуточным звеном между процессом Control и процессом, работающим на каждом из контроллеров SoftStep, является процесс-инструмент (Tool), который абстрагирует представление технологического оборудования (робот, лазер и т.д.) в системе на уровне координации работы нескольких координатных позиционеров.

Уровень взаимодействия комплекса с ПЭВМ оператора реализуется совместно комплексом программ, работающих на контроллере LST Controller и на ПЭВМ оператора. Процесс Control Server, выполняемый на ПЭВМ оператора позволяет запускать на выполнение программы для транспьютерной сети, написанные на языке комплекса, осуществлять непосредственное управление системой перемещения отдельных координатных позиционеров с помощью мыши, а также наблюдать положение координатных позиционеров комплекса на экране.

В пятой главе представлены результаты по внедрению разработанного программного обеспечения для систем перемещений на базе двухкоординатных позиционеров, основанные на предложенном в диссертации подходе интегрирования многих операций и инструментов в едином рабочем пространстве за счет конфигурирования системы перемещений из однотипных двухкоординатных позиционеров с заранее обеспеченными техническими характеристиками и независимой локальной системой управления.

Разработанное программное обеспечение для системы управления двухкоординатным позиционером с программной коррекцией ошибки перемещения до 3...5 мкм было использовано на ГНПК ТМ «Планар» при создании автоматических установок зондового контроля и автоматов присоединения проволочных выводов.

Представлены результаты по разработке программного обеспечения системы лазерной гравировки на базе двухкоординатного планарного позиционера и CO₂-лазера, имеющей интерфейс с персональным компьютером. Специальное программное обеспечение, разработанное в виде драйвера принтера для операционной системы Windows 95/98, позволяет производить гравирование непосредственно из Windows-приложений (например, CorelDraw). Драйвер гравировальной системы поддерживает такие специальные возможности, как инвертирование и автоматическую генерацию наклонного профиля растровых

изображений, генерирование верхней и нижней матриц для выдавливания оттисков на бумаге, установку уровня мощности для каждого из используемых в рисунке цветов.

Разработанное ПО на основе предложенного алгоритма анализа коллизий было использовано на предприятии «Рухсервомотор» при разработке и создании автоматического тестера печатных плат PCB, основанного на совместной работе четырех двухкоординатных позиционеров с точностью позиционирования ± 10 мкм, скоростью перемещения 0.5 м/с и ускорением 20 м/с².

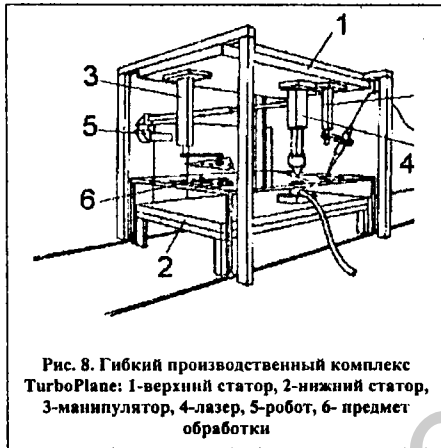


Рис. 8. Гибкий производственный комплекс TurboPlane: 1-верхний статор, 2-нижний статор, 3-манипулятор, 4-лазер, 5-робот, 6- предмет обработки

Также представлены результаты внедрения программного обеспечения гибкого автоматизированного многоинструментального комплекса TurboPlane, разработанного для интегрирования прецизионных лазерных технологий, который был создан при участии автора в рамках договора о сотрудничестве между БГУИР и научным центром LST Laser & Strahl Technik (г. Вена, Австрия).

Основной разработанный комплекс являются пять двухкоординатных позиционеров, расположенных на двух параллельных статорах размером 800x1500 мм каждый (рис. 8). Четыре верхних позиционера используются для монтажа на них технологического оборудования: 5-координатного робота, манипулятора, СО₂-лазера, YAG-лазера (плоттера). Нижний позиционер используется для транспортировки материала заготовки и сбора готовых деталей. Каждый координатный позиционер управляется контроллером SoftStep, который содержит в своем составе транспьютер T425 фирмы SGS-Thomson, процессор цифровой обработки сигналов ADSP-2100 фирмы Analog Devices, микросхему программируемой логики фирмы Xilinx. Разработанное программное обеспечение верхнего уровня позволяет осуществлять программное согласование в единой системе координат всех производственных и транспортных движений, осуществляемых центральным контроллером, предоставляет удобный интерфейс с пользователем и возможность управления комплексом с персонального компьютера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа научно-исследовательских работ, материалов патентной и периодической литературы, накопленного отечественного и зарубежного опыта, предложен подход к построению системы перемещений для гибкого автоматизированного оборудования на основе многоцелевого использования двухкоординатных планарных позиционеров с жестким программным согласованием в единой системе координат всех производственных и транспортных движений, с возможностью работы при любой ориентации в пространстве с точностью ± 10 мкм в

структурах управления разомкнутого типа и $\pm 2 \dots \pm 3$ в системах квазизамкнутого типа [14, 15, 19, 25].

2. Обоснована динамическая модель планарного позиционера и предложено раздельное управление плечами X и Y модуля движения для устранения влияния увода подвижной части при ее поворотах и целенаправленного перераспределения общей электромагнитной силы на тяговую и поворотную. Разработана аналитическая модель взаимодействия зубцовых зон индуктора и статора двухкоординатного планарного позиционера, которая позволила получить соотношение энергии поворота, тяговых сил, синхронизирующих моментов с оценками статических и динамических показателей для различных конструкций и их модификаций с учетом угловых смещений подвижной части позиционера [11, 16].

3. На основе разработанных алгоритмов анализа коллизий, решена задача совместной работы двух и большего количества планарных позиционеров, расположенных на одном статоре в едином рабочем пространстве гибкого автоматизированного комплекса. Разработаны принципы построения программного обеспечения для системы управления двухкоординатным позиционером и многоинструментальным комплексом в целом, построенным на основе системы перемещения, конфигурируемой из необходимого количества двухкоординатных планарных позиционеров [3, 21].

4. Разработано программное обеспечение для системы управления двухкоординатным позиционером на основе алгоритмов программной коррекции ошибки перемещения, использованное при создании автоматических установок для зондового контроля и автоматов присоединения проволочных выводов, выпускаемых серийно на ГППК ТМ «Планар», что позволило создать устройства координатных перемещений обладающие повышенными динамическими (в 1,5...2 раза) и точностными (в 3...5 раз) характеристиками по сравнению с разработанными ранее [1,12].

5. Разработанные алгоритмы и программное обеспечение для локальной системы управления двухкоординатным позиционером с учетом возможных коллизий с другими позиционерами, расположенными на одном статоре, были использованы на предприятии «Рухсервомотор» при разработке и создании тестера печатных плат РСВ, что позволило создать систему перемещений с точностью позиционирования ± 10 микрометров, повторяемостью ± 3 микрометра, скоростью перемещения 0,5 м/с, ускорением 20 м/с² и обеспечить повышение производительности в 1,5-2 раза [3, 21].

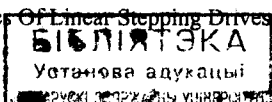
6. Разработан гибкий производственный комплекс лазерной обработки TurboPlane в части концепции построения и программного обеспечения контроллера двухкоординатного планарного позиционера SoftStep и контроллера верхнего уровня LST Controller, обеспечивающего программное согласование движений позиционеров в единой системе координат в соответствии с выполняемой технологической операцией [2, 8, 9, 13, 14, 19, 23].

Полученные теоретические и практические результаты направлены на расширение функциональных возможностей прецизионных координатных систем оборудования производства электронной техники и приборостроения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, материалы конференций

1. Карпович С.Е., Межинский Ю.С., Степанов Д.А., Кузьменков С.В., Дайняк И.В. Алгоритм калибровки и квазизамкнутого управления // Веснік сувязі.- 1999.- №1. – С. 199-203.
2. Карпович С.Е., Межинский Ю.С., Степанов Д.А., Кузьменков С.В. Система управления многокоординатным комплексом // Веснік сувязі.- 1999.- №1. – С. 195-198.
3. Степанов Д.А. Алгоритмы анализа столкновений при совместной работе двухкоординатных позиционеров в едином рабочем пространстве // Известия Белорусской Инженерной Академии.- 2001.- №1(11)/3.- с.163-164.
4. Дайняк И.В., Степанов Д.А., Заведеев В.В., Павлюковский И.А., Филиппович А.Е. Система управления многокоординатным шаговым приводом на основе сигнального процессора ADSP-20165L // Известия Белорусской Инженерной Академии.- 2001.- №1(11)/3.- с.165-166.
5. Кананович В.П., Карсеко В.Г., Межинский Ю.С., Степанов Д.А. Установка для лазерного формирования 2D-3D объектов в прозрачных диэлектриках // Известия Белорусской Инженерной Академии.- 2001.- №1(11)/3.- с.174-175.
6. Огер В.П., Безлюдов А.В., Карпович С.Е., Степанов Д.А. Измерительная система контроля параметров позиционирования ЛШД // Известия Белорусской Инженерной Академии.- 2001.- №1(11)/3.- с.167-168.
7. Mezhlinsky Y., Karpovich S. E., Stepanov D. Prediction of Force-Displacement and Position Error Characteristics of Linear Stepping Motors Using Finite Element Method // Proceedings of International Conference on Electrical Drives and Power Electronics / Technical University of Koshice, Slovakia.- Koshice, 1996.- P. 57-62.
8. Mezhlinsky Yu., Stepanov D. Control Systems and Software design of multi-level coordinate systems // Proceedings of 2nd Polish-German Workshop "Tools of Mechatronics" / Technical University of Ilmenau, Germany.- Ilmenau, 1998.- P. 48-54.
9. Mezhlinsky Y., Stepanov D., Kuzmenkov S. Control System For Multirobot "Turboplane" // Proceedings of 44-th International Scientific Colloquium, Technical University of Ilmenau, Germany, September 20-23, 1999. / Technical University of Ilmenau.- Ilmenau, 1999.- P. 68-71.
10. Дайняк И.В., Степанов Д.А. Уравнения движения координатных систем и механизмов // В кн. "Теория построения прецизионных механизмов оборудования производства электронной техники".- Минск: ГНПКТМ "Планар", 1999.- с.150-168.
11. Орленок А.Б., Агапов Д.А., Степанов Д.А. Оптимизация геометрических параметров зубцовой зоны "индуктор-статор" на основе аналитического расчета // В кн. "Оптимизационное проектирование прецизионных координатных систем и механизмов оборудования производства электронной техники".- Минск: НПО "Интеграл", 1999 г.- с.144-154.
12. Mezhlinsky Y., Stepanov D., Orlyonok A. Prediction Of Force-Displacement And Position Error Characteristics Of Linear Stepping Drives // Proceedings of EPE International



Conference, 5-7 September, 2000 / Technical University of Koshice, Slovakia.- Koshice, 2000.- P.78-81.

13. Mezinsky Y., Karpovich S., Stepanov D., Kuzmenkov S. SoftStep Controller for "TurboPlane" Multirobot System // Proceedings of International Conference on Engineering and Technological Sciences 2000, 10-13 October, 2000. / University of Beijing, China.- Beijing, 2000.- P.119.

14. Степанов Д.А. Гибкий производственный комплекс на базе планарного привода // Материалы конференции "Новые технологии изготовления многокристалльных модулей", Минск-Нарочь, 25-29 сентября 2000 г. / БГПА.- Минск, 2000.- с. 79.

15. А.М. Русецкий, С.Е. Карпович, М. Чех, Н.С. Колядко, Д.А. Степанов. Построение автоматизированного сборочного оборудования производства изделий электронной техники // Наука и технологии на рубеже XXI века: Материалы Международной научно-технической конференции. Под ред. И.П. Филонова, Е.П. Сапелкина, Г.Я. Беляева / Мн.: УП «Техноприт», 2000.- с. 161-172

16. Дайняк И.В., Степанов Д.А., Ярославцев А.А. Математическое моделирование двухкоординатного линейного шагового привода // В кн. Сборник научных трудов по материалам 5-го Международного молодежного форума "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке" (в 2-х частях), часть 2,- 24-26 апреля 2001 / Харьков, 2001 г.- С.237-238.

17. И.В. Дайняк, Д.А. Степанов. Математическое моделирование плоских аэростатических опор координатных систем. В кн.: Прецизионные координатные системы на основе электропривода прямого действия // Карпович С.Е., Жарский В.В., Ляшук Ю.Ф., Межинский Ю.С. Под ред. д.т.н., проф. С.Е. Карповича. – Мн.: ГНПКТМ «Планар», 2001. С.61-77.

18. В.И. Лозовский, Д.А. Степанов. Датчик положения для координатных систем на базе электропривода прямого действия. В кн.: Прецизионные координатные системы на основе электропривода прямого действия // Карпович С.Е., Жарский В.В., Ляшук Ю.Ф., Межинский Ю.С. Под ред. д.т.н., проф. С.Е. Карповича. – Мн.: ГНПКТМ «Планар», 2001. С. 114-128.

19. Карпович С.Е., Межинский Ю.С., Степанов Д.А., Орленок А.Б. Гибкие производственные системы для интегрированных технологий производства изделий электронной техники. В кн. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники // А.П. Достанко, С.П. Кундас, С.В. Бордусов и др.; Под общ. ред. академиков НАН Беларуси А.П. Достанко и Витязя П.А. В 3-х т. Т. 3. – Мн.: ФУАинформ, 2001, с. 257-287.

20. Yu. Mezinsky, S. Karpovich, D. Stepanov. Control system for multirobot "TurboPlane" // Proceedings of the 14th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics / technical University of Koshice.- Koshice, 2001.- p.68-69.

Тезисы докладов

21. Степанов Д.А., Орленок А.Б., Агапов Д.А. Алгоритмы предотвращения

- столкновений координатных позиционеров перемещающихся на одном статоре // Тезисы докладов 2-го Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике "Механика-99", 28-30 июня 1999 г. / БГПА.- Минск, 1999.- с. 57.
22. Stepanov D. Control System For Robotic Complex With Linear Stepping Motors // Abstracts of International Conference MIXDES, Lodz (Poland) / Technical University of Lodz.- Lodz, 1999.- - P.49.
23. Stepanov D. The Parallel Network Architecture Of A Control System Based On Transputers // Abstracts of 20-th International Scientific Symposium of Students and Young Scientific Workers, Zelona Gura (Poland) / University of Zelona Gura.- Zelona Gura, 1999.- P.62.
24. Mezhinsky Yu., Stepanov D. Steuerungssysteme und Softwaredesign von Mehrkoordinatensystemen für die Mechatronik // Abstracts of 2nd Polish-German Workshop "Tools of Mechatronics" / Technical University of Ilmenau, Germany.- Ilmenau, 1998.- P. 16-17.
25. Карпович С.Е., Жарский В.В., Межинский Ю.С., Степанов Д.А., Орленок А.Б., Заведеев В.В., Филипович А.Е., Павлюковский И.А., Ковалев С.В. Координатные системы на основе электропривода прямого действия // Тезисы докладов Белорусско-Польского научно-практического семинара, Польша, г.Белосток, 11-13 сентября 2001 г./ БГПА.- Минск, 2001 – с. 73-74.
26. Ю.С. Межинский, Д.А. Степанов. Программное обеспечение комплекса лазерной обработки. VII Междунар. конф. «Лазерные и лазерно-информационные технологии: фундаментальные проблемы и приложения»: Программа и аннотации докладов. 22-26 июня 2001 г., Владимир – Суздаль / Под ред. В.Я. Панченко, В.С. Голубева. – ИПЛИТ РАН, Шатура – ВлГУ, Владимир, 2001. – С. 53-54.



ПАБУДОВА СІСТЭМ ПЕРАМЯШЧЭННЯЎ НА АСНОВЕ
ДВУХКААРДЫНАЦЫЙНЫХ ПАЗІЦЫЯНЕРАЎ ДЛЯ ГІБКАГА
АЎТАМАТЫЗАВАНАГА АБСТАЛЯВАННЯ

Ключавыя словы: мікраэлектроніка, прэцызійнае тэхналагічнае абсталяванне, гібкі аўтаматызаваны комплекс, лінейныя шагавыя рухавікі, калізы, сістэма кіравання, праграмае забяспячэнне.

Аб'ектам тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў з'яўляецца дзвухкаардынатны пазіцыянер з лінейнымі шагавымі рухавікамі.

Прадмет даследаванняў – падыход да пабудовы сістэм перамяшчэнняў гібкіх вытворчых комплексаў (ГВК) для інтэграваных прэцызійных тэхналогій на аснове шматмэтавага выкарыстання каардынацыйных пазіцыянераў, якія забяспечваюць адначасовае выкананне мноства тэхналагічных аперацый у рабочай прасторы.

Мэта працы – распрацоўка падыхода да пабудовы сістэм перамяшчэнняў ГВК прэцызійных інтэграваных тэхналогій на аснове шматмэтавага выкарыстання двухкаардынацыйнага планарнага пазіцыянера, праграмнага забяспячэння лакальнай сістэмы кіравання каардынацыйным пазіцыянерам, алгарытмаў сумеснай працы некалькіх каардынацыйных пазіцыянераў у адзінай рабочай прасторы, рэалізацыя пералічаных задач у ГВК TurboPlane.

Распрацаван падыход да пабудовы сістэм перамяшчэнняў ГВК на аснове шматмэтавага выкарыстання двухкаардынацыйных пазіцыянераў; прадстаўлена матэматычная мадэль двухкаардынацыйнага пазіцыянера з улікам вугла развароту; праграмае забяспячэнне лакальнай сістэмы кіравання асобным каардынацыйным пазіцыянерам, якое дазваляе кіраваць ім з выкарыстаннем языка HPGL; праграмае забяспячэнне сістэмы кіравання ГВК, якое каардынуе сумесную працу асобных каардынацыйных пазіцыянераў у адзінай рабочай прасторы.

Атрыманая вынікі накіраваны на пашырэнне функцыянальных магчымасцей сістэм абсталявання вытворчасці электроннай тэхнікі.

Вынікі дысертацыйнай атрымалі ўкараненне на канцэрне “Планар” пры правядзенні навукова-даследчых і вопытна-канструктарскіх работ, а таксама скарыстаны ў Беларускай дзяржаўнай універсітэце інфарматыкі і радыёэлектронікі пры правядзенні навучальнага працэсу.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДВУХКООРДИНАТНЫХ ПОЗИЦИОНЕРОВ ДЛЯ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: микроэлектроника, прецизионное технологическое оборудование, гибкий автоматизированный комплекс, линейный шаговый двигатель, коллизии, система управления, программное обеспечение.

Объектом теоретических и экспериментальных исследований является двухкоординатный позиционер на базе линейных шаговых двигателей

Предмет исследований – подход к построению систем перемещений гибких производственных комплексов (ГПК) для интегрированных прецизионных технологий на основе многоцелевого использования координатных позиционеров, обеспечивающих одновременное выполнение множества технологических операций в рабочем пространстве.

Цель работы – разработка подхода к построению систем перемещений ГПК прецизионных интегрированных технологий на основе многоцелевого использования двухкоординатного планарного позиционера, разработка математических моделей двухкоординатного планарного позиционера, программного обеспечения локальной системы управления координатным позиционером, алгоритмов совместной работы нескольких координатных позиционеров в едином рабочем пространстве, реализация перечисленных задач в ГПК TurboPlane.

Разработан подход к построению построения систем перемещений на основе многоцелевого использования двухкоординатных позиционеров; представлена математическая модель двухкоординатного позиционера с учетом угла разворота; программное обеспечение локальной системы управления отдельным координатным позиционером, позволяющее управлять им с использованием языка управления плоттером HPGL; программное обеспечение системы управления ГПК, координирующее совместную работу отдельных координатных позиционеров в едином рабочем пространстве.

Полученные результаты направлены на расширение функциональных возможностей систем оборудования производства электронной техники.

Результаты диссертационной работы были внедрены на концерне «ГПланар» при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также использованы в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники при проведении учебного процесса.

SUMMARY
Stepanov D. A.

BUILDING OF MOVEMENT SYSTEMS BASED ON TWO-COORDINATE
POSITIONERS FOR FLEXIBLE AUTOMATED EQUIPMENT.

Keywords: microelectronics, precision technological equipment, flexible automated complex, linear stepping motor, collisions, control system, software.

The object of theoretical and experimental researches is two-coordinate positioner based on linear stepping motor.

Subject of research is an approach to building of movement systems for flexible automated complexes for integrated precision technologies based on multi-purpose usage of coordinate positioners, which provide simultaneous execution of a set of technological operations in common workspace.

Purpose of the work is to develop the approach to building of movement systems for flexible automated complexes for integrated precision technologies based on multi-purpose usage of coordinate positioners, as well as development of mathematical models of two-coordinate planar positioner, development of local control system software, development of algorithms of cooperative work of several positioners in common workspace, and implementation of said above tasks in TurboPlane flexible automated complex.

Current work presents developed approach to building of movement systems for flexible automated complexes for integrated precision technologies based on multi-purpose usage of coordinate positioners; mathematical model of two-coordinate planar positioner, which considers rotation angle of positioner; local control system software, which allows manage single coordinate positioner using HPGL plotter language; flexible automated complex control system software, which coordinates cooperative work of separate coordinate positioners in common workspace.

The results received in the work are directed on the extension of functional capabilities of systems for production equipment of electronic technology.

Results of the dissertation were applied at concern "Planar" for research and development works, and also utilized at Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics for educational process.

СТЕПАНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ
ДВУХКООРДИНАТНЫХ ПОЗИЦИОНЕРОВ ДЛЯ ГИБКОГО
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Специальность 05.27.06 – “Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники”

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 18.03.2002.

Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная.

Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,63.

Уч.-изд.л. 1,0.

Тираж 90 экз.

Заказ 168.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

"Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"

Лицензия ЛП №156 от 05.02.2001.

Лицензия ЛП №509 от 03.08.2001.

220013, Минск, П. Бровки, 6.