МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи

ГУСАРОВ Александр Васильевич

ИНВАРИАНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ МАШИН ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Специальность 05.02.13 – Машины и агрегаты легкой промышленности

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

МОСКВА – 1993

Работа выполнена в Московском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте легкой промышленности и институте "Общая техника конструирования машин" Рейнско-Вестфальской высшей технической школы в г.Аахене (Institut für Allgemeine Konstruktionstechnik des Maschinenbaues der Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen).(ФРГ)

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: доктор технических наук, профессор АЛЕКСАНДРОВ В.М.

доктор технических наук, профессор РУКЕНЦЕВ А.С.

доктор технических наук, профессор ХАВКИН В.Л.

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: НПО Легпроммеханизация - ЛИТОМ

Защита состоится "21" октября 1992 в 10 час. на заседании специализированного Совета Д.053.32.02 при Московском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте легкой промышленности по адресу: 113806,Москва,ул.Сойменко,33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "18" сентября 1992 г.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря специализированного Совета

Ученый секретарь специализированного Совета канд.техн.наук,доцент ГРИБИН В.В.

А Н Н О Т А Ц И Я

Диссертация посвящена решению проблемы создания обобщенных моделей рычажных механизмов оборудования для легкой промышленности и эффективных методов их оптимизации. В работе рассматривается методика моделирования процесса производства, сборки и функционирования этих механизмов. Представлены результаты внедрения теоретических и экспериментальных исследований в промышленность и учебный процесс.

Решение указанной научной проблемы имеет важное народнохозяйственное значение и ориентировано на использование в следующих направлениях:

- проектирование оборудования по производству кожи, меха, ПШМ и ИК, одежды, обуви и кожгалантерейных изделий;
- прогнозирование развития техники для легкой промышленности;
- изготовление машин и аппаратов для легкой промышленности;
- производство одежды, обуви и кожгалантерейных изделий;
- подготовка и переподготовка кадров для легкой промышленности.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Удовлетворение потребностей населения страны в предметах массового спроса неразрывно связано с механизацией и автоматизацией производственных процессов в легкой промышленности. Функциональное назначение технологического оборудования и сложившееся направление его развития привели к тому, что большая часть машин отрасли содержит рычажные механизмы.

Не случайно многочисленные исследования в области машиностроения для легкой промышленности относятся к таким механизмам.

Многообразие, структура и сложность механизмов в первую очередь определяются конкретным назначением оборудования и целым рядом особенностей технологических процессов легкой промышленности.

Эти обстоятельства привели к тому, что к настоящему времени создан практически необозримый фонд узкоспециализированных методов и объектноориентированных моделей механизмов, машин и технологических процессов отрасли.

В последние годы продолжается интеграция науки и образования. Создаются и функционируют ассоциации, концерны, учебно-научно-производственные комплексы. Вузы взаимодействуют с предприятиями на основе договоров о подготовке и переподготовке кадров и проведении совместных научных исследований. Эксплуатируются, разрабатываются и совершенствуются промышленные системы автоматизированного проектирования, учебно-исследовательские САПР, автоматизированные системы управления технологическими процессами, гибкие автоматизированные производства.

При такой ситуации возникли серьезные трудности в сфере прогнозирования развития, проектирования, изготовления и эксплуатации отраслевого оборудования. Подготовка и переподготовка кадров также требует усвоения обучаемыми стремительно возрастающих объемов информации.

В складывающихся обстоятельствах объектноориентированные модели рычажных механизмов и традиционные методы их оптимизации вносят существенный вклад в формирование этих трудностей.

Направление диссертационной работы утверждено Советом Московского ордена Трудового Красного Знамени технологического института легкой промышленности (МТИЛПа) в соответствии с заданиями Гособразования СССР I.2.55 и 3.I.43 межвузовской научно-технической программы работ "Создание и развитие учебно-исследователь-

ских САПР и их подсистем в высших учебных заведениях", приказом Министерства оборонной промышленности СССР о разработке оборудования для легкой промышленности от 23.03.89 и других заданий промышленности по теме "Решение проблемных вопросов создания швейных машин и агрегатированных рабочих мест для производства одежды и изделий из кожи", планами совершенствования учебного процесса в вузах легкой промышленности.

Цель работы. Разработка теоретических основ инвариантного моделирования и оптимизации рычажных механизмов машин легкой промышленности и практических методик их использования в различных сферах приложения:

прогнозирование развития техники для легкой промышленности;

проектирование оборудования по производству кожи, меха, ПТМ и ИК, обуви, одежды и кожгалантерейных изделий;

изготовление машин и аппаратов для легкой промышленности;

производство одежды и изделий из кожи;

подготовка и переподготовка кадров для легкой промышленности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- системный анализ технологических процессов и оборудования легкой промышленности;

- анализ объектноориентированных и инвариантных методов моделирования и оптимизации технических систем легкой промышленности;

- разработка методологии создания единых моделей разнородных технологических процессов и оборудования; их компонентов, опираясь на систематику физических, химических и биологических эффектов;

- объединение разнообразных схем рычажных механизмов, кинематических цепей; структур и геометрии поперечных сечений звень-

ев, их контуров; рабочих чертежей; общих видов машин и т.п. в единые модели;

- создание предпосылок для формирования обобщенных структур определенного целевого назначения (отдельных машин и автоматов; конструктивно-унифицированных рядов машин; поточных линий по производству одежды и изделий из кожи, кожевенных, обувных или швейных машин; наборов технологического оборудования для предприятий легкой промышленности; производственных программ заводов, концернов, фирм, специализирующихся на проектировании и изготовлении оборудования для соответствующих отраслей промышленности; УИ САПР вузов легкой промышленности; аудио-визуальных пособий для изучения соответствующих дисциплин по специальностям вузов легкой промышленности и т.д.);

- разработка концепции получения характеристик рычажных механизмов на основе метода бинарных деревьев логических возможностей;

- создание методики вычисления характеристик, опирающейся на блочно-модульный принцип построения списковых структур объектов моделирования и позволяющей "просматривать" все возможные сборки, исключая "отрицательные", "мнимые" и "комплексные проекты";

- разработка методики моделирования механизмов III и более высоких классов путем получения характеристик в "неявной" форме с последующим преобразованием их к "явному" виду;

- создание методики прогнозирования крайних положений рычажных механизмов;

- представление требуемых законов движения исполнительных инструментов машин легкой промышленности в виде единых моделей;

- разработка метода мимикрии для формирования целевых функций;

- создание эвристического метода оптимизации рычажных уси-

лителей мощности для структурного и метрического синтеза объектов проектирования;

- разработка интегрального алгоритма для поиска оптимальных параметров рычажных механизмов машин легкой промышленности с помощью псевдобиологических методов, в основу которых положены упрощенные процессы (генная и хромосомная мутации, рекомбинация, селекция и изоляция) синтетической теории эволюции;

- метрологический анализ типовых деталей рычажных механизмов швейных машин в производственных условиях посредством современных автоматизированных измерительных комплексов;

- создание концепции моделирования процесса производства, сборки и функционирования рычажных механизмов;

- разработка методики для теоретического и практического определения кинематических, силовых, энергетических и других функций партий механизмов машин легкой промышленности;

- моделирование и оптимизация рычажных механизмов швейных и обувных машин по заданию промышленности;

- создание технологии автоматизированного проектирования машин легкой промышленности в условиях учебно-исследовательской САПР;

- получение ряда новых технических решений (на уровне изобретений) и внедрение их в промышленность (следящие системы, специализированная экспериментальная аппаратура, системы с разгруженными программоносителями, системы путевого управления и другие системы для легкой промышленности);

- разработка и внедрение новых методов и средств обучения.

Методология и методы исследования. В диссертации использованы: системный подход, позволяющий рассматривать предметы и явления в их взаимосвязи; элементы концептуальной алгебры и теории

графов; методы исследования операций и синтетическая теория эволюции.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- выполнено теоретическое и практическое исследование научной проблемы по разработке методологии инвариантного моделирования и оптимизации рычажных механизмов машин легкой промышленности, имеющей важное народно-хозяйственное значение;

- впервые осуществлен структурный анализ технологических процессов и оборудования легкой промышленности на базе основных положений концептуальной алгебры, предложена методика формирования единых моделей технических систем отрасли и их компонентов;

- созданы типовые инвариантные модели рычажных механизмов и разработан способ их декомпозиции на составляющие, отвечающий требованиям блочно-модульного построения объектов проектирования;

- разработаны приемы моделирования механизмов III и более высоких классов, опирающиеся на методы получения "неявных" функций в табулированной форме, преобразования их к "явному" виду и прогнозирования крайних положений объектов исследования и оптимизации;

- создана обобщенная модель требуемых законов движения исполнительных инструментов машин легкой промышленности и сформулированы рекомендации пользователю по блочно-модульному построению функций приближения;

- впервые разработан метод мимикрии для формирования критериальных функций;

- впервые осуществлен структурный и метрический синтез рычажных усилителей мощности;

- разработан и использован при решении практических задач эффективный и универсальный алгоритм определения оптимальных

параметров рычажных механизмов машин легкой промышленности с привлечением псевдобиологических методов;

- выдвинута и реализована концепция моделирования процесса производства сборки и функционирования рычажных механизмов;

- выявлены детерминированные и стохастические характеристики типовых объектов моделирования швейных и обувных машин.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями, выполненными под руководством и при активном участии автора в ходе их реализации в промышленности и учебном процессе ВУЗов и техникумов; применением современных методов и средств ведения исследований.

Практическая ценность и реализация работы. Научно-практические разработки, представленные в диссертации позволяют решать комплексно конкретные задачи моделирования и оптимизации рычажных механизмов машин легкой промышленности, исходя из необходимости интеграции науки, производства и образования. Эти разработки могут быть использованы при:

- разработке новой и совершенствовании существующей техники для легкой промышленности;

- создании и модернизации методического, математического, программного и информационного обеспечения САПР, УИ САПР, АСУ ТП, ГАП, ИПК;

- создании и эксплуатации учебно-научно-производственных комплексов;

- разработке учебно-методической документации для ВУЗов и техникумов;

- подготовке и переподготовке кадров для легкой промышленности.

Практическая значимость работы подтверждается эффективностью внедрения ее результатов:

- концерном "Подольск";

- производственным объединением "Промшвеймаш";

- центральным конструкторским и исследовательским бюро спортивно-охотничьего оружия;

- Солнечногорским механическим заводом;

- заводом резиновых изделий "Инкарас";

- научно-исследовательским институтом резиновых и латексных изделий;

- центральным научно-исследовательским институтом швейной промышленности.

Экономическая эффективность от внедрения разработок в промышленность составляет около миллиона рублей.

Результаты научных исследований используются вузами легкой промышленности. Они нашли применение в лекциях, на лабораторных и практических занятиях, курсовом и дипломном проектировании, включены в типовые программы "Машины и аппараты обувного производства" для специальностей 1108, 1113 "Технология легкой промышленности" для специальности 0569 и учебник "Расчет и конструирование механизмов машин обувных и швейных производств".

Идеология инвариантного моделирования и оптимизации рычажных механизмов оборудования для легкой промышленности использовалась в процессе выполнения заданий Гособразования СССР I.2.55 (машиностроительный раздел) и 3.I.43 Межвузовской научно-практической программы работ "Создание и развитие учебно-исследовательских САПР и их подсистем в высших учебных заведениях". Она принималась во внимание при заключении договора на 1988-1993 гг. между МТИЛПом и концерном "Подольск" "О подготовке и переподготовке

кадров и проведении совместных научных исследований".

Апробация работы проводилась в СССР и за рубежом. Основные результаты работы докладывались и получили положительную оценку на конференциях, симпозиумах, семинарах в:

- Московском технологическом институте легкой промышленности;
- Московском текстильном институте;
- Московском инженерно-физическом институте;
- Московском авиационном институте;
- Московском станкоинструментальном институте;
- Московском заочном машиностроительном институте;
- Московском доме научно-технической пропаганды;
- Московском обществе приборостроительной промышленности;
- Киевском технологическом институте легкой промышленности;
- Воронежском Государственном Университете;
- Дмитровоградском филиале Ульяновского политехнического института;
- институте общей техники конструирования Рейнско-Вестфальской высшей технической школы в г.Аахене (Institut für Allgemeine Konstruktionstechnik des Maschinenbaues der Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen) (ФРГ);
- Мюнхенском техническом Университете (Technische Universitat München) (ФРГ);
- институте "Механизмы и динамика машин" Рейнско-Вестфальской высшей технической школы в г.Аахене (Institut für Getriebetechnick und Maschinendynamik der RWIH Aachen) (ФРГ);
- институте "Конструирование деталей машин и точных приборов" Брауншвейгского технического университете (Institut für Konstruktion feine Maschinen und Feinwerkelemente Technische Universität Braunschweig) (ФРГ);
- фирме Дюркопп (Dürkopp werke GmBH) (ФРГ);

- техническом университете г.Карл-Маркс-штадт (Technische Universität Karl-Marx-Stadt) (ГДР).

Конструкторские разработки защищены девятью авторскими свидетельствами СССР. По результатам их внедрения в народное хозяйство автор диссертации отмечен знаком "Изобретатель СССР".

Документы, подтверждающие апробацию работы; эффективность ее внедрения в промышленности и учебных процесс; результаты моделирования процесса производства, сборки и функционирования механизмов подачи нитки с вращательными низшими кинематическими парами приведены в приложении.

Объем и структура диссертации. Работа изложена на 473 страницах. Она содержит 239 страниц машинописного текста, 54 рисунка, 34 таблицы и состоит из введения, 5 глав с выводами, заключения, списка литературы (215 наименований), приложения на I46 страницах.

Первая глава посвящена единым моделям технических систем легкой промышленности. Технологические процессы и оборудование легкой промышленности рассматриваются с позиций систематики. Отмечается, что при всем многообразии объектов исследования и оптимизации каждый из них обычно описывается как черный, белый или серый ящик. Принято считать, что у абстрактной технической системы на вход подается энергия $E_{вх}$, вещество $W_{вх}$ и сигнал (информация) $S_{вх}$, Система обеспечивает их преобразование в выходные параметры $E_{вых}$, $W_{вых}$, $S_{вых}$. Со стороны окружающей среды на систему оказывается воздействие, имеющее составляющие $E_п$, $W_п$, $S_п$. "Давление" системы на окружающую среду оценивается параметрами $E_з$, $W_з$, $S_з$.

Произвольные компоненты технологических процессов и оборудования отрасли можно рассматривать в виде абстрактной модели, математическое описание которой имеет вид

$$X = \Phi_{МЛ}(A, B, C), \qquad (1)$$

где: $X = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ – реакция элемента системы на внешние воздействия;

$\Phi_{МЛ}$ – оператор математической модели, устанавливающий соответствие между множествами X, A, B, C;

$A = (a_1, a_2, \ldots, a_m)$ – связи, описываемые в детерминированной форме;

$B = (b_1, b_2, \ldots, b_n)$ – множество стохастических и вероятностно-неопределенных связей;

$C = (c_1, c_2, \ldots, c_v)$ – константы.

Если рассматривается модель белого ящика, имеющего внутренние связи $D = (d_1, d_2, \ldots, d_k)$, то

$$X = \Phi_{МЛ}(A, B, C, D). \qquad (2)$$

Многие компоненты технических систем отрасли изменяются во времени t. Для такого случая имеем модель элемента динамической системы

$$X(t) = \Phi_{од}[A(t), B(t), D(t), C]. \qquad (3)$$

Несмотря на кажущуюся простоту традиционного подхода к решению задач моделирования технических систем легкой промышленности, практическое применение его сопряжено с существенными трудностями. Представляется целесообразным развить этот подход, опираясь на основные положения теории концептуального проектирования.

Подавляющее большинство технических систем функционируют на основе физических, химических или биологических эффектов. Последние можно интерпретировать как конструктивные примитивы или модули самого низкого уровня. Наборы соответствующих эффектов образуют операторы. Структура произвольной технической системы или алгоритм ее функционирования описывается последовательностью выполнения физических, химических, биологических, арифметических и

логических операторов.

Следовательно, разнородные технические системы легкой промышленности можно представлять в виде инвариантных моделей типа

$$\Phi_o = \mathcal{T}_{па}\Phi_{па}\{[(\mathcal{T}_{411}И_{411}f_{411})(\mathcal{T}_{412}И_{412}f_{412})\ldots(\mathcal{T}_{41n}И_{41n}f_{41n})]\to$$
$$\to[(\mathcal{T}_{421}И_{421}f_{421})(\mathcal{T}_{422}И_{422}f_{422})\ldots(\mathcal{T}_{42n}И_{42n}f_{42n})]\ldots\to \qquad (4)$$
$$\to[(\mathcal{T}_{4m1}И_{4m1}f_{4m1})(\mathcal{T}_{4m2}И_{4m2}f_{4m2})\ldots(\mathcal{T}_{4mn}И_{4mn}f_{4mn})]\}.$$

Здесь: Φ_o – символ обобщенной модели;

$\mathcal{T}$ – признак наличия модуля;

$\Phi_{па}$ – математическое или иное описание общей части модели;

$И$ – индекс связи модуля с другими компонентами модели;

f – математическое или иное описание неделимой части модели – элементарного модуля.

В зависимости от области применения могут создаваться как автономные обобщенные модели рычажных механизмов, так и единые модели технологических процессов и оборудования для легкой промышленности.

На качество выполнения рабочих процессов многих технологических машин существенное влияние оказывает структура рычажных механизмов. Она является одним из значимых факторов, которые определяют точность и надежность функционирования исполнительных механизмов; габариты; металло- и энергоемкость; статические; динамические, эргономические, монтажные, эксплуатационные характеристики машин.

Традиционно результаты структурного синтеза оформляются в виде многочисленных таблиц, матриц, схем, объемных приложений к диссертациям. Наиболее полные описания цепей и механизмов занимают несколько сот или тысяч страниц.

С развитием компьютерной технологии конструирования машин все большую остроту приобретает компактное представление цепей и механизмов. Иными словами, речь идет об "упаковке" моделей объектов исследования и проектирования в единое целое.

В работе предложен метод "Кентавра", с помощью которого созданы меню механизмов с двумя степенями свободы и кинематических цепей с четырьмя степенями изменяемости.

Свыше 300 четырех-,шести- и восьмизвенных регулируемых кинематических цепей с низшими парами "упакованы" в единую обобщенную схему. Только 26 цепей требуют усложнения текущей обобщенной схемы. Затем происходит насыщение инвариантной модели.

Синтезирована обобщенная структура типовых исполнительных механизмов швейных машин.

Предложенный метод позволяет компактно "упаковывать" структуры звеньев рычажных механизмов, описания геометрии поперечных сечений звеньев и их контуров, рабочие чертежи и т.п.

Метод дает возможность создавать обобщенные структуры определенного целевого назначения:

- отдельных машин и автоматов;
- конструктивно-унифицированных рядов машин;
- поточных линий по производству одежды;
  обуви и кожгалантерейных изделий;
- наборов технологического оборудования для предприятий легкой промышленности;
- кожевенных, обувных или швейных машин;
- производственных программ машиностроительных заводов, концернов, фирм;
- УИ САПР вузов;
- аудио-визуальных пособий и т.п.

Во второй главе развивается концепция инвариантного моделирования рычажных механизмов на основе метода деревьев логических возможностей.

Большая часть стержневых систем обувных, швейных, кожевенных и других машин легкой промышленности относится к механизмам П и Ш класса. Основу автоматизированного анализа и синтеза таких механизмов составляют модели, позволяющие решать задачи о положениях. Решение такого рода задач сопряжено с необходимостью составления уравнений связи , представляющих собой функции параметров кинематической схемы механизма и обобщенных координат.

При применении явных уравнений связи пользователя постоянно "сопровождают" решения, лежащие за пределами его интересов. В частности, математическая модель трехповодковой группы имеет вид:

$$Ax^6 + Bx^5 + Cx^4 + Dx^3 + Fx^2 + Gx + H = 0. \qquad (5)$$

Описания коэффициентов $A - H$ занимают несколько страниц, а решение уравнения в радикалах сопряжено с существенными трудностями. Зачастую желаемый результат не может быть получен за обозримое время даже при наличии самых современных ЭВМ.

Задача существенно упростится, если из общей совокупности возможных решений выделить только приемлемые. Процесс определения кинематических, силовых, точностных и других характеристик объекта исследования представляется в виде бора (рис.I). Он содержит m бинарных деревьев логических возможностей. Все деревья имеют общий корень - 0 . Все узлы безконтурных графов имеют идентификаторы типа A , B , $C^{(d,e,f,\ldots)}$. Здесь: A - ранг ветви (уровень кинематической пары); B - номер положения механизма; C - порядковый номер элементарной функции (расчетного примитива); d , e , f ,... - бинарные признаки ветвлений.

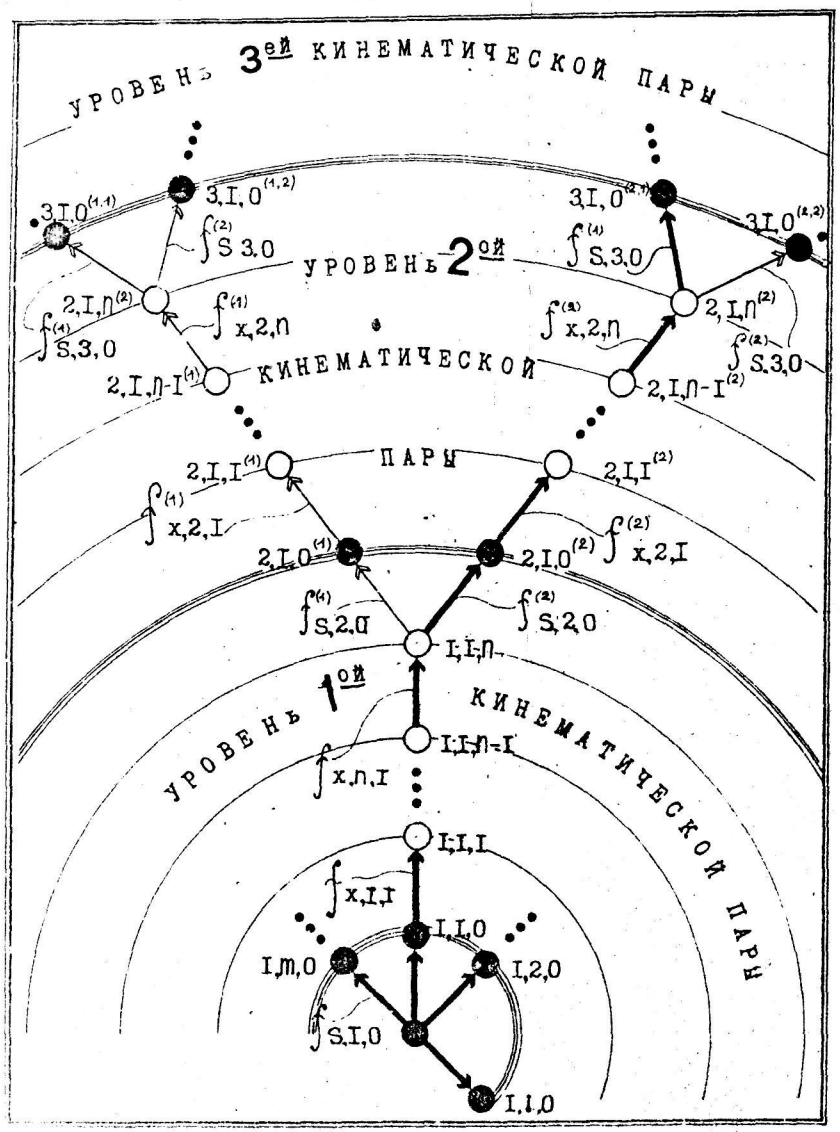

Рис. I. Бинарные деревья процесса определения характеристик шарнирно-рычажных систем.

Расчетные примитивы предназначены для однозначного определения положений кинематических пар - $f^{(d)}_{s,c,в}$; аналогов скоростей, ускорений, рывков; реакций в кинематических парах; вектор-моментов и других статических, динамических и точностных характеристик - $f^{(d)}_{x,c,в}$. В обозначениях примитивов первого ранга бинарные признаки опускаются. Примитивы являются компонентами ветвей деревьев. Заштрихованные узлы соответствуют положениям шарниров объектов исследования. Реализация, т.е. путь от корня к листьям дерева дает конкретную сборку системы. Число q_c возможных сборок определяет структуру дерева и общее количество реализаций для бора $Q_p = mq_c$. Обычно пользователя интересуют только определенные сборки. Чаще всего ему желательно обеспечить условие $Q_p = m$. Иными словами, требуется понизить ранг дерева до I. Для этой цели необходимо иметь такой моделирующий алгоритм, который с средством технических средств САПР отсекает лишние ветви дерева, исходя из накладываемых конструктором ограничений.

Если исходные уравнения связи для определения характеристик систем имеют степень выше первой, то их декомпозиция на расчетные примитивы $f^{(d)}_{x,c,в}$ приводит к возникновению дополнительных точек ветвления и повышению ранга деревьев. Однако, это не накладывает никаких ограничений на сферу применения рассматриваемой методики решения задач анализа рычажных механизмов.

Появление ЭВМ с параллельно работающими процессорами позволяют "просматривать" все возможные сборки. Это особенно важно при решении задач синтеза систем большой размерности.

Как показывает опыт, в промышленности и проектно-конструкторских организациях "приживаются" только те концепции моделирования механизмов и машин, которые обладают вполне определенными свойствами. К последним, в первую очередь, относятся универсаль-

ность и возможность привлечения простых средств для решения сложных и громоздких задач.

Учитывая эти требования,в качестве расчетных примитивов использовались тривиальные зависимости. Каждый расчетный примитив оформлялся в виде подпрограммы общего вида. На базе инвариантных программных модулей разработано меню, вызываемое пользователем на экран дисплея. Из элементов меню формируется списковая структура шарнирно-рычажной системы.

Если объект исследования относится к механизмам Ш или более высокого класса, то необходимы дополнительные средства и методы. Автором разработан метод получения "неявных" функций с последующим их преобразованием к "явному" виду. В общем случае неявно заданные табулированные функции составляются с привлечением методов Монте-Карло и замены ведущего звена.

На практике количество "холостых" циклов вычислений можно существенно сократить. Для этого необходимо знать положение хотя бы одной точки базисного звена в процессе работы механизма. Такие точки имеются во многих механизмах машин легкой промышленности.

Здесь задача решается методом направленного поиска. Формируются "положительная" и "отрицательная" матрица. Они объединяются в одну. Упорядочение информации осуществляется путем обмена местами строк на основе методов сортировки и поиска. Преобразование "неявных" функций к "явному" виду проводится за три этапа. При этом самый "легкий" файл "всплывает" и разворачивается на 180°. "Тяжелые файлы" выпадают в осадок.

Методика отыскания характеристик механизмов усилителей Ш и более высоких классов позволяет существенно сократить количество "холостых" циклов и довести его до двух.

Характеристики чаще всего представляют собой гладкие периодические функции с "размытыми" экстремумами. Следовательно, нельзя оставить без внимания крайние положения объектов исследования и моделирования.

Традиционные приемы определения крайних положений позволяют получать уравнения оврагов и гребней. За счет введения дополнительной системы координат и особой конфигурации базисного звена удается значительно упростить коэффициенты уравнения по сравнению с общей математической моделью механизма Ш класса.

Для решения поставленной задачи в общем виде предлагается воспользоваться методами прогнозирования крайних положений рычажных механизмов. Такой прием оправдан, поскольку характеристики объектов моделирования развиваются во времени.

Любому фиксированному положению входного или регулировочного звена ставится в соответствие линейный или параболический тренд, который обладает наибольшей скоростью роста. Уравнения оврагов и гребней отыскиваются в виде огибающих кривых. В рассматриваемом случае предполагается, что все точки кривой тренда равноценны.

Со временем на объект могут оказывать существенное влияние возмущающие воздействия, например, износ в кинематических парах. В такой ситуации целесообразно скорректировать уравнения тренда. Больший вес присваивается последним членам динамического ряда.

Решение задач анализа и синтеза шарнирно-рычажных систем с учетом случайных составляющих требует методов стохастического прогнозирования.

При выполнении диссертационной работы в вычислительном центре МТИПа на основе программы TREND осуществлялось прогнозирование крайних положений механических усилителей мощности, механизмов

швейных и обувных машин.

Третья глава посвящена оптимизации параметров рычажных механизмов. Создание совершенного технологического оборудования для легкой промышленности практически не возможно без оптимизации параметров исполнительных механизмов. Для оценки механизмов привлекаются разнообразные критерии качества. Но в первую очередь конструктор должен обеспечить заданные законы перемещения исполнительных инструментов. Во многих машинах легкой промышленности эти инструменты непосредственно связаны с выходными звеньями рычажных механизмов. При такой ситуации возникают задачи метрического синтеза.

Специалисты в области синтеза механизмов описывают требуемые законы движения $f_з(\varphi_к, X_j)$ (Здесь $\varphi_к$, X_j - обобщенные координаты механизма) посредством сравнительно громоздких многочленов.

Очевидно, пользователь САПР должен иметь меню требуемых законов движения и возможность их конструирования по блочно-модульному принципу. Представляется целесообразным всю совокупность требуемых законов движения представить в виде единой модели - круговой граф-схемы обобщенного закона движения исполнительных инструментов в цикловых механизмах. В качестве основных расчетных модулей служат простые функции интерполяции, сглаживания и аппроксимации из имеющегося математического обеспечения САПР.

Этот подход можно распространить только на часть проектно-конструкторских задач. Многие отечественные предприятия и зарубежные фирмы выпускают технологическое оборудование для легкой промышленности одного функционального назначения. Однако, законы движения соответствующих инструментов этих машин существенно отличаются. В однотипных машинах для реализации необходимых законов движения рабочих инструментов привлекаются механизмы различной

структуры.

Следовательно, во многих случаях мы должны рассматривать не $f_з(\varphi_к, X_j)$, а некоторую область $W_з$ устойчивой реализации рабочего процесса машины. Область ограничена сверху функцией $f_{зв}(\varphi_к, X_j)$, а снизу зависимостью $f_{зн}(\varphi_к, X_j)$.

Чаще всего, функция положения $f_м(P_i, \varphi_к X_j)$ (Здесь P_i - параметры механизма) исполнительного инструмента механизма рассматривается как характеристика идеального механизма. В реальных условиях следует учитывать первичные ошибки в параметрах. Практически во всех машинах легкой промышленности имеются технологические и наладочные регулировки. Они обеспечивают воспроизведение семейства функций: $f_{м_1}(P_i, \varphi_к, X_j)$; $f_{м_2}(P_i, \varphi_к, X_j)$; ... Таким образом и здесь вместо $f_м(P_i, \varphi_к, X_j)$ следует рассматривать область $W_м$ положений исполнительного инструмента для партии механизмов, изготовленных по единому проекту. Область имеет ограничивающие функции $f_{мв}(P_i, \varphi_к, X_j)$ и $f_{мн}(P_i, \varphi_к, X_j)$.

В процессе синтеза механизмов конструктор стоит перед необходимостью обеспечения условия: $W_м \subset W_з$. Поставленную задачу предлагается решать методом мимикрии. Создается теоретическая, среда R обитания некоторого "биологического объекта" (например, рыбы) (см.рис.2). Плоскость $\varphi O \psi$ является "дном водоема". Оно окрашено только в светлые или темные тона. Конфигурация темной области соответствует $W_з$. Рыба располагается в плоскости "биологического объекта". Здесь темная область идентифицируется с $W_м$. Ограничивающие функции изменяются в диапазоне $[\varphi_а, \varphi_б]$. "Биологический объект" назовем "аналогом", а область, ограниченную контуром проекции рыбы на "дно водоема" - "эталоном". В природе биологические объекты приспосабливаются к условиям среды обитания. Путем естественного отбора и эволюции "биологических объектов" $W_м$ должна

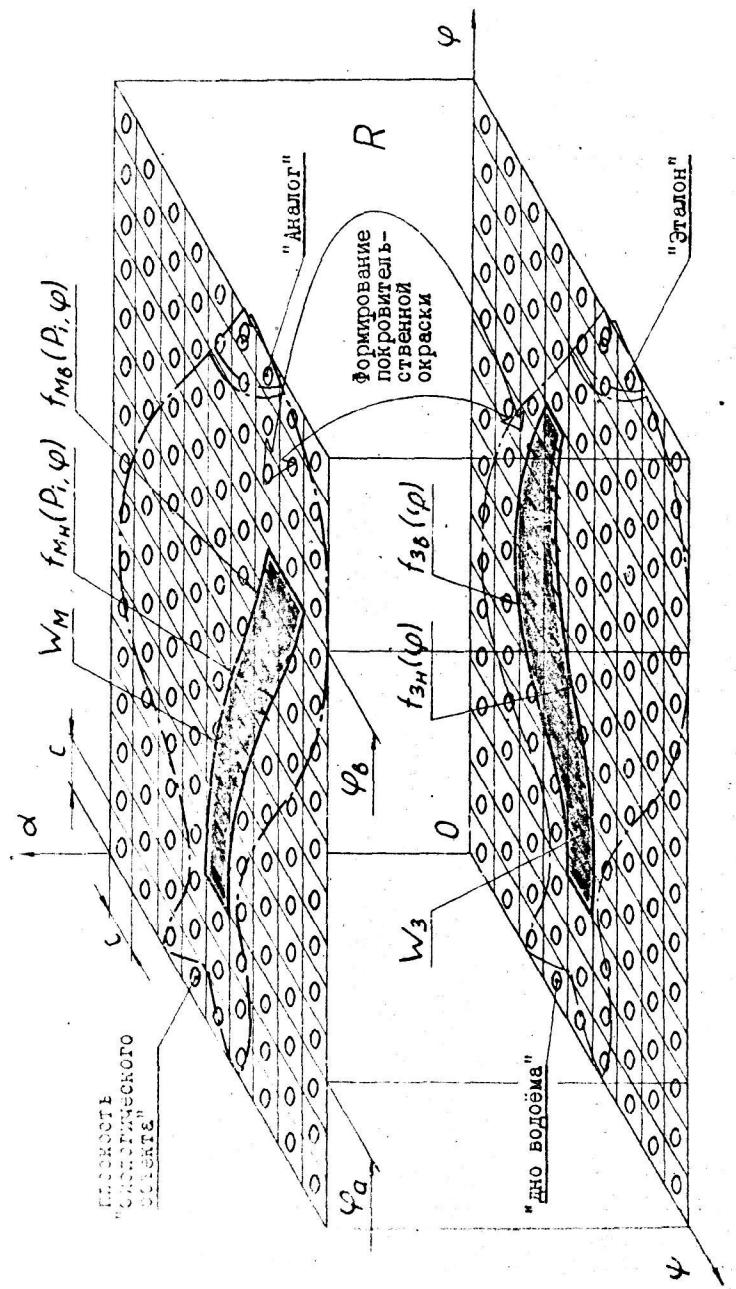

Рис. 2. Иллюстративная модель метода мимикрии.

трансформироваться в $W_э$.

Описание "эталона" и "аналога" сводится к построению многопозиционных бинарных последовательностей $\mathfrak{T}$ и $\mathfrak{L}$. В процессе синтеза механизмов конструктор должен минимизировать меру близости "эталона" и "аналога"

$$\Phi(P_i) = \mathfrak{F}(\mathfrak{T}, \mathfrak{L}) \to \min . \qquad (6)$$

В качестве мер близости можно использовать:

- коэффициент композиционного сходства;
- расстояние Хемминга;
- коэффициент генетического сходства по Неу ;
- другие критерии кластерного анализа.

Традиционные методы структурного и метрического синтеза рычажных механизмов не всегда позволяют находить искомое решение оперативно и с минимальными затратами. Учитывая это обстоятельство, в работе предложен эвристический метод оптимизации рычажных механизмов мощности. На первой стадии проектирования усилителей выделяются базовые механизмы и кинематические цепи. Они служат исходным материалом для простейших рычажных механизмов мощности.

В настоящее время для решения проектно-конструкторских задач пользователь располагает возможностью использовать детерминированные, стохастические и комбинированные методы оптимального проектирования.

Известно, что на протяжении нескольких миллиардов лет существования жизни на земле природа создала совершеннейшие биологические системы. Выдвинута гипотеза, что в процессе биологической эволюции осуществляется не только естественный отбор живых

существ с заданными свойствами, но природа "позаботилась" о том, чтобы для этих целей был использован эффективный оптимизационный алгоритм. Сделана попытка представить псевдобиологические методы оптимизации параметров рычажных механизмов в виде интегрального алгоритма.

Основу этих методов составляют упрощенные процессы синтетической теории эволюции: генная и хромосомная мутации, рекомбинация, селекция и изоляция.

На первом этапе работы алгоритма реализуется двучленный мутационно-селекционный процесс и формируется исходная матрица оптимизируемых параметров в популяции механизмов. Генетический материал генерируется датчиком псевдослучайных чисел. Выбор пары механизмов осуществляется случайным образом. После рекомбинации производится масштабирование асимптотически нормальных случайных величин и генерация новых параметров механизмов. Проводится сборка, "оживление" механизма, вычисление критерия качества объекта проектирования. Самый худший экземпляр "умирает", т.е. отвергается, а лучший экземпляр пополняет популяцию механизмов и образуется новая матрица оптимизируемых параметров.

Двучленный мутационно-селекционный процесс предполагает генерацию новых механизмов путем формирования параметров $\bar{p}_{j+1} = p_{j+1,1}; p_{j+1,2}; \dots; p_{j+1,m}$, используя координаты $\bar{p}_{j,t} = p_{j,t,1}; p_{j,t,2}; \dots; p_{j,t,n}$ текущей точки мутации и случайные приращения параметров $\bar{V}_j = V_{j,1}; V_{j,2}; \dots; V_{j,n}$ Таким образом

$$\bar{p}_{j+1} = \bar{p}_{j,t} + \bar{V}_j . \qquad (7)$$

Селекция механизмов осуществляется исходя из соотношений

$$\bar{p}_{j+1,t} := \bar{p}_{j+1} \quad \text{при} \quad \Phi(\bar{p}_{j+1}, \bar{\varphi}, \bar{x}) \vdash \Phi(\bar{p}_{j,t}, \bar{\varphi}, \bar{x}) \qquad (8)$$

$$p_{j+1,t} := \bar{p} \quad , \quad \text{если} \quad \Phi(\bar{p}_{j+1}, \bar{\varphi}, \bar{x}) \dashv \Phi(p_{j,t}, \bar{\varphi}, x) . \qquad (9)$$

Здесь: $\vdash$ - знак "лучше", $\dashv$ - знак "хуже".

Плотность вероятности $\rho(V)$ для случайного вектора $\bar{V}$, имеющего Гауссово распределение определяется по формуле:

$$\rho(\bar{V}) = \frac{1}{(\sigma\sqrt{2\pi})^n} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}\bar{V}^2\right). \qquad (10)$$

В процессе эволюции механизмов для точек с координатами $\bar{p}_{j,1}; \bar{p}_{j,2}; \dots$ имеет место монотонно ограниченная сверху последовательность

$$\Phi(\bar{p}_{j,1}, \bar{\varphi}, \bar{x}) \dashv \Phi(\bar{p}_{j,2}, \bar{\varphi}, \bar{x}) \dashv \dots \dashv \Phi(\bar{p}_{j,t}, \bar{\varphi}, \bar{x}) \dashv \dots \qquad (11)$$

Если в некоторой точке $\bar{p}_2$ пространства переменных критериальная функция имеет глобальный оптимум $\Phi_2(\bar{p}, \bar{\varphi}, \bar{x})$ то для любых $\bar{p}_{j,t} \neq p_{2э}$ справедливо соотношение $\Phi(\bar{p}_{j,t}, \bar{\varphi}, \bar{x}) \dashv \Phi_{2э}(p_{2э}, \bar{\varphi}, \bar{x})$ Следовательно при $t \to \infty$ критерий качества

$$\Phi(\bar{p}_{j,t}, \bar{\varphi}, \bar{x}) \to \Phi_{2э}(\bar{p}_{2э}, \bar{\varphi}, \bar{x}).$$

В n -мерном пространстве выделим область Q включающую в себя точки $\bar{p}_j$ для которых можно записать соотношение $\Phi(\bar{p}_j, \bar{\varphi}, \bar{x}) \vdash \Phi(\bar{p}_{j,t}, \bar{\varphi}, x)$.

Вероятность "рождения" механизма с более высоким критерием качества

$$F(\bar{p}_{j,t}) = \overbrace{\int\dots\int}^{n}_{Q} f(\bar{p}_j - \bar{p}_{j,t})\, d\bar{p} = \qquad (12)$$

$$= \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right)^n \overbrace{\int\dots\int}^{n}_{Q} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}\left(\bar{p}_j - \bar{p}_{j,t}\right)^2\right] d\bar{p} .$$

При практическом осуществлении псевдобиологической оптимизации процесс эволюции механизмов может "застревать" в отдельных районах пространства переменных. Это потребует значительных затрат машинного времени.

Тесретическим путем определены необходимый $U_r/U_R > \vartheta(\vartheta \in [0,1]$ и достаточный $U_r/U_R > \vartheta\sqrt{\vartheta n}$ критерии конвергенции мутационно-селекционного процесса. Здесь: U_R – область, ограниченная внешней сферой радиуса R ; U_r – область успешных мутаций механизмов; $R > r$; r – радиус сферы, ограничивающей область U_r . Величина коэффициента задается пользователем исходя из того, чтобы в критической точке $\bar{P}_{j,t}, \bar{\varphi}, \bar{X} = \bar{P}_r, \bar{\varphi}, \bar{X}$ оптимизационный процесс сходился с вероятностью $F(\bar{P}_{j,t}) \geq \vartheta$.

При оптимизации параметров механизмов необходимо стремиться к уменьшению количества K проб или шагов. Вне зависимости от вида критериальной функции ее можно аппроксимировать поверхностями правильных геометрических тел с любой для практических целей точностью. Опыт аппроксимации сложных поверхностей в технике показывает, что для описания критериальных функций (особенно в районах локальных экстремумов) целесообразно использовать сферические поверхности. Предполагается, что целевая функция монотонно возрастает от периферии к центру гипер-шара и имеет вид

$$\Phi(P_1, P_2, \ldots, P_n) = -f\left(\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} P_i^2}\right). \qquad (13)$$

Мгновенным значением критерия конвергенции можно считать разность $\ell_{j,i} - \ell_{j+1,i}$, где $\ell_{j,i}$ и $\ell_{j+1,i}$ координаты точек мутации $A_{j,i}$ и $A_{j+1,i}$. Тогда показатель развития мутационно-селекционного процесса

$$U = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right)^n \overbrace{\int \ldots \int}^{n}_{\sum_{i=1}^{i=n} P_i^2 \leq \ell_{j,i}^2} \left(\ell_{j,i} - \sum_{i=1}^{i=n} P_i^2\right) \times \qquad (14)$$

$$\times \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}\left[(P_1 - \ell_{j,i})^2 + \sum_{i=1}^{i=n} P_i^2\right]\right\} dP_1\, dP_2 \ldots dP_n .$$

При $n\sigma^2 \ell_{j,i}^{-2} \ll 1$ и $n \gg 1$

$$U = \sigma(2\pi)^{-0.5}\left\{\exp\left(-\frac{n\sigma}{2\sqrt{2}} - (\pi)^{0.5}\frac{n\sigma}{2\sqrt{2}\,\ell_{j,i}}\left[1 - I\left(\frac{n\sigma}{2\sqrt{2}\,\ell_{j,i}}\right)\right]\right)\right\}. \qquad (15)$$

В четвертой главе рассматривается проблема моделирования процесса производства, сборки и функционирования рычажных механизмов, а также проблема оптимизации механизмов с учетом микро- и макропараметров. При решении этих проблем выполнялся метрологический анализ типовых деталей шарнирно-рычажных механизмов швейных машин на Оршанском ПО "Промшеймаш", концерне "Подольск", в Брауншвейгском техническом университете (ФРГ) с помощью автоматизированных измерительных комплексов Gordiment Date Processing Sustems (Model C) и Opton . Результатом работы комплексов являются протоколы измерений и сгруппированная исходная информация для моделирования сборки и функционирования рычажных механизмов.

При фиксированном положении входных и регулировочных звеньев объектов исследования методы инвариантного моделирования для любой i -ой точки произвольного звена дают возможность вычислить N (N – объем партии объектов исследования) выходных характеристик (положения; аналоги скоростей, ускорений и т.п.). Если $N = \infty$, то последние представляют собой двух- или трехмерные непрерывные случайные величины. Тогда у плоских механизмов можно говорить о функциях распределения типа

$$F_{i*}(\alpha,\beta) = P_{i*}\{A<\alpha,\ B<\beta\}, \qquad (16)$$

где: α,β – прямоугольные или полярные координаты случайных величин;

A,B – координаты некоторой точки в плоскости $\alpha O\beta$.

В частности, положение любой точки партии механизмов описывается поверхностью распределения $f(x,y)$, которая совместно с координатной плоскостью (X,Y) ограничивает объем

$$V_{*i} = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}(x,y)\,dx\,dy = 1. \qquad (17)$$

Поскольку, мы имеем дело с конечным количеством механизмов, то поверхность распределения может быть представлена в виде призмограммы. Посредством технических средств САПР она изображается как двумерная матрица, элементами которой являются частоты Ω_{*i} или поверхности $\Omega(\alpha,\beta)$ (см.рис.3). Пользователь имеет возможность определять числовые и моментные характеристики для произвольной точки механизма.

В предыдущей главе рассматривались особенности оптимизации механизмов с параметрами одного порядка. В реальных условиях необходимо учитывать как макро-, так и микропараметры. Учитывая данное обстоятельство, здесь принята следующая модель пространства $Q^{(n)}$ переменных. В области $Q_н$ недопустимых значений параметров целевая функция

$$\Phi(P_1, P_2, \ldots, P_n) = -\infty, \qquad (18)$$

а в области $Q_д$ допустимых значений функция качества

$$\Phi(P_1, P_2, \ldots, P_n) = f(P_n) \qquad (19)$$

монотонно возрастает вдоль оси P_n. Пределы варьирования параметров

$$P_1 \in [-P_{min.1}, P_{max.1}],\ (|P_{min.1}| = P_{max.1})$$
$$P_2 \in [-P_{min.2}, P_{max.2}],\ (|P_{min.2}| = P_{max.2})$$
. . . . . .

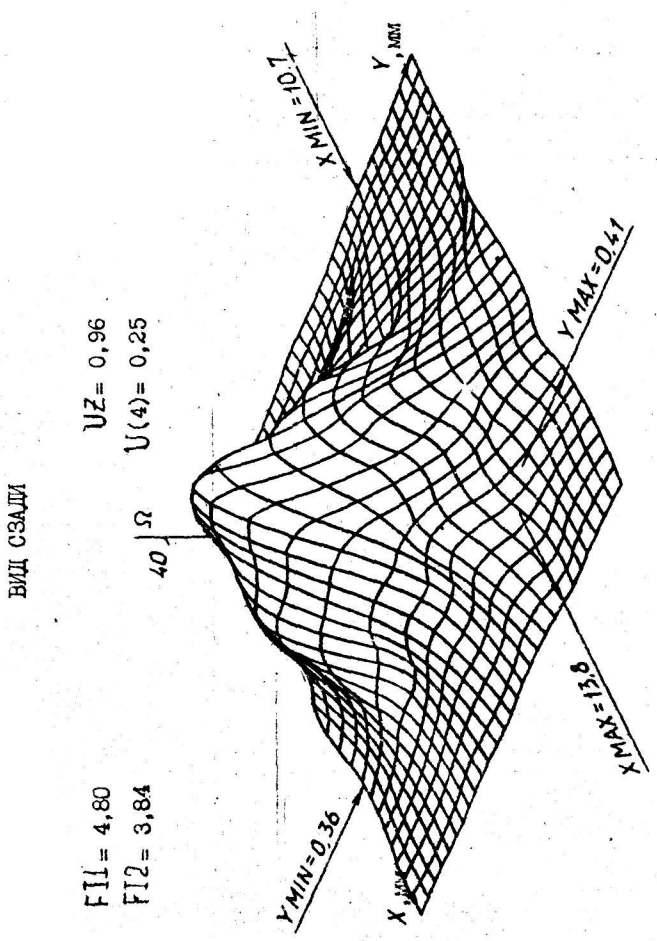

Рис. 3. Компьютерное изображение поверхности $\Omega(x,y)$ распределения двухмерной случайной величины (вероятностная характеристика положения точки 34 партии механизмов для перемещения материала машины типа IG22 класса)

$$\rho_{n-1} \in [-\rho_{min.n-1}; \rho_{max.n-1}], (|\rho_{min.n-1}| = \rho_{max.n-1}) \qquad (20)$$
$$\rho_n \in [\pm\infty]$$

При фиксированном значении ρ_n

$$\Phi(\rho_1, \rho_2, \ldots, \rho_n) = const \qquad (21)$$

В заданных условиях

$$U = \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left\{ 0{,}5 \left[I\left(\frac{\rho_{max.1} - \rho_{j+1.1}}{\sigma\sqrt{2}}\right) + I\left(\frac{\rho_{max.1} + \rho_{j+1.1}}{\sigma\sqrt{2}}\right) \times \right.\right.$$
$$\times 0{,}5 \left[I\left(\frac{\rho_{max.2} - \rho_{j+1.2}}{\sigma\sqrt{2}}\right) + I\left(\frac{\rho_{max.2} + \rho_{j+1.2}}{\sigma\sqrt{2}}\right) \times \ldots \right. \qquad (22)$$
$$\left.\left. \ldots \times 0{,}5 \left[I\left(\frac{\rho_{max.n-1} - \rho_{j+1.n-1}}{\sigma\sqrt{2}}\right) + I\left(\frac{\rho_{max.n-1} + \rho_{j+1.n-1}}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right. \right. \right.$$

Если под интегральным критерием конвергенции мутационно-селекционного процесса понимать $V_u = SK_n^{-1}$ (S – длина пройденного пути, K_n – необходимое количество проб мутации), то

$$V_u = \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left\{ I\left(\frac{d\sqrt{2}}{2\sigma}\right) - \frac{2\sigma}{d\sqrt{2\pi}} \left[1 - \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right) \right] \right\}^{n-1} \qquad (23)$$

Здесь: $d = 2\rho_{max.1} = 2\rho_{max.2} = \ldots = 2\rho_{max.n-1}$.

Средняя вероятность "рождения" конкурентноспособных механизмов

$$\tilde{\gamma} = 0{,}5 \left\{ I\left(\frac{d\sqrt{2}}{2\sqrt{2}} - \frac{2\sigma}{d\sqrt{2\pi}} \left[1 - \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right) \right] \right) \right\}^{n-1} \qquad (24)$$

Одна из основных задач пользователя – назначение оптимального среднего квадратического отклонения $\sigma_д$. Для модели гипершара

$$\sigma_{д1} = \frac{1{,}224\rho_j}{n} \qquad (25)$$

При $\rho_n \in [\pm\infty]$

$$\sigma_{д2} = \frac{d\sqrt{2\pi}}{2n} \qquad (26)$$

В ходе оптимизации механизмов со случайными макро- и микропараметрами следует иметь в виду, что

$$\sigma_{др} = \frac{d\sqrt{2\pi}}{n} \cdot \left(n \gg 1\right), \left(\sigma \ll 2d\right). \qquad (27)$$

В работе определены оптимальные значения критериев конвергенции.

Автором сделана попытка сопоставить качество работы различных оптимизационных алгоритмов.

Теоретическое сопоставление псевдобиологических и градиентных методов показывает следующее:

I. Предпочтение следует отдавать градиентным методам, если число оптимизируемых параметров n не превышает трех.

2. При $n = 3$ они имеют равные возможности.

3. Если $n > 3$ существенное преимущество получают псевдобиологические методы.

На практике конструктор не всегда может предсказать характер целевых функций. В процессе синтеза механизма отклонения иглы машины II26 класса сопоставлялся метод Монте-Карло и простой псевдобиологический метод. Преимущество последнего весьма значительно.

В пятой главе рассматриваются прикладные задачи моделирования и оптимизации рычажных механизмов легкой промышленности. Здесь приводятся результаты стохастического моделирования объектов исследования.

Установлено, чаще всего в промежуточных положениях механизмов машин отрасли имеет место дифференциальный закон распределения характеристик

$$f_{i*}(\alpha, \beta) = \left[2\pi\sigma_\alpha\sigma_\beta\sqrt{1 - \rho_{i*}^2} \right]^{-1} \exp\left\{ \left[\frac{(\alpha - U)^2}{\sigma_\alpha^2} - \right. \right.$$

$$- \frac{2\rho_{i*}(\alpha-U)(\beta-V)}{\sigma_\alpha \sigma_\beta} + \frac{(\beta-V)^2}{\sigma_\beta^2}\Big]\Big[-2\left(1-\rho_{i*}^2\right)\Big]^{-1}\Big\} . \qquad (28)$$

Здесь: $\sigma_\alpha, \sigma_\beta, U, V$ – параметры закона распределения Гаусса;

$\rho_{i*} = \rho_{i*}\{A, B\}$ – коэффициент корреляции между величинами A и B .

Практически предельная область рассеивания на плоскости $\alpha O \beta$ ограничивается эллипсом

$$\frac{(\alpha-U)^2}{a_\beta^2 \sigma_\alpha^2} - \frac{2\rho_{i*}(\alpha-U)(\beta-V)}{a_\beta^2 \sigma_\alpha \sigma_\beta} = 1 - \frac{(\beta-V)^2}{a_\beta^2 \sigma_\beta^2} . \qquad (29)$$

Ориентация осей эллипсов рассеивания может быть любой в интервале $[0, 2\pi]$. Нельзя, однако, утверждать, что в этих положениях мы всегда встречаемся с законом распределения Гаусса. Во многих случаях поверхность распределения имеет сложную конфигурацию. В крайних положениях наблюдается тенденция к формированию двух областей рассеивания (см. например, рис.4).

В общем случае следует говорить о случайных процессах. Отдельные характеристики (траектории движения рабочих точек транспортирующих реек, годографы давлений в кинематических парах и т.п.) можно описать зависимостями типа

$$\Phi_{f_{*i}}(f_{*i}) = \left[\sigma_{A_j}\sqrt{2\pi}\left(\sum_{k=2}^{\infty} A_{jk}\right)\right]^{-1} \int_{-\sum_{k=2}^{\infty} A_{jk}}^{\sum_{k=2}^{\infty} A_{jk}} \left[1 - 2\sum_{s=1}^{\infty}\cos\left[(s\pi\nu_k)\right]\right. \qquad (30)$$

$$\times\left(\sum_{k=2}^{\infty} A_{jk}\right)^{-1}\Big]\prod_{k=2}^{\infty} J_0\left[(A_{jk}\pi s)\right]\exp\left\{-0{,}5\sigma_{A_j}^2\left[\nu_k - (f_{*i} - s)\right]\right\} d\nu_k \; , \; f_{*i} \in [\pm\infty] \; ; \; A_j \in [0, \infty]$$

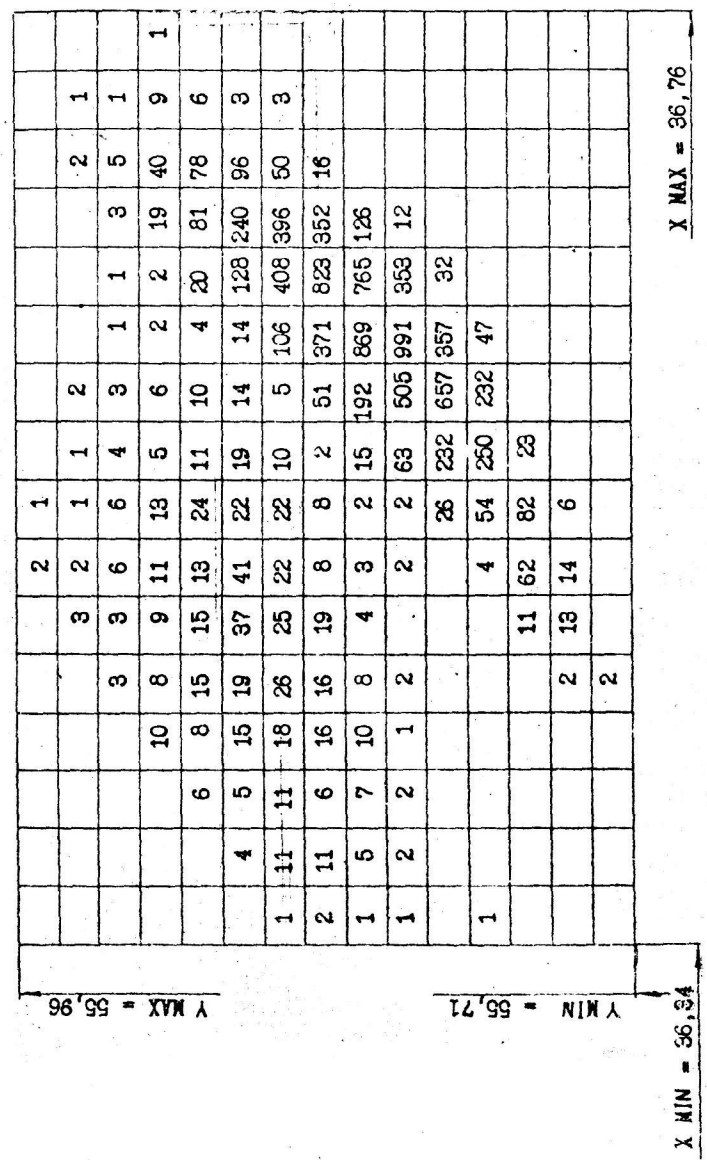

Рис. 4. Копия компьютерного изображения призмограммы распределения положения глазка нитепритягивателя (точка 6) при FI = 0,9.

Здесь: $f_{\kappa i}$ – функция, характеризующая мгновенное рассеивание i следуемого параметра;

A_j – случайная величина i -ой точки механизма;

$A_{j\kappa}$ – амплитуды гармоник;

V_κ – мгновенное значение стационарной случайной функции

φ_j – обобщенная координата;

S – номер гармоники.

По-видимому, такой результат представляет в большей степени теоретический интерес.

Если для всего спектра изменения обобщенных координат реализовать алгоритм моделирования процесса производства, сборки и функционирования объекта исследования, то любую характеристику рычажного механизма можно получить с помощ ю технических средств САПР в виде призмограммы распределения (см.,например рис.5).

В главе описывается опыт оптимизации механизма с двумя ведущими звеньями дл отклонения иглы в швейной машине. При проектировании механизма исследовалось качество работы различных методов псевдобиологической оптимизации. Сходимость каждого из них оценивается характеристикой, представляющей собой монотонно убывающую функцию. Во всех случаях комплексный псевдобиологический метод имеет лучшую сходимость.

Основные положения инвариантного моделирования и оптимизации рычажных механизмов нашли отражение в технологии автоматизированного проектирования машин легкой промышленности, которая положена в основу рабочих и технических проектов, выполненных по заданиям Гособразования СССР I.2.55 и 3.I.43 в рамках Межвузовской научно-технической программы "Создание и развитие учебно-исследовательских САПР и их подсистем в ВУЗах".

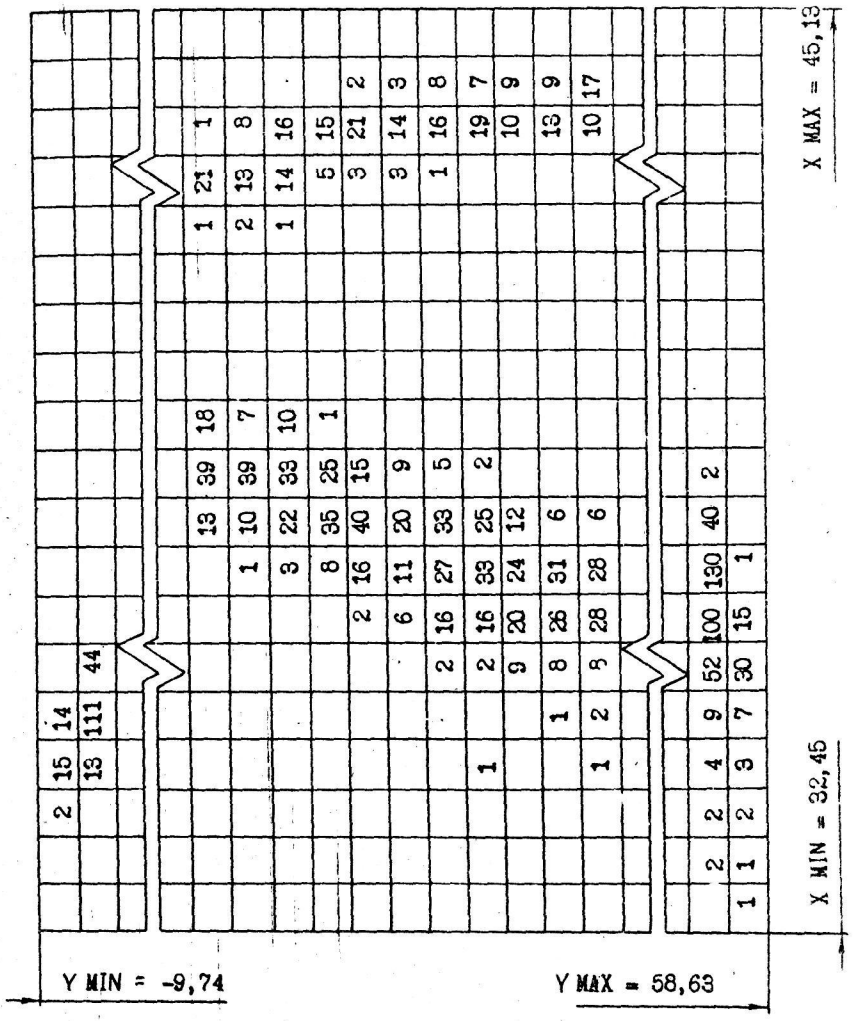

Рис.5. Результаты моделирования процесса производства, сборки и функционирования партии шарнирно-рычажных механизмов подачи ниток (функция положения глазка нитепритягивателя при шаге DELFI = 0,1рад)

Последний раздел диссертации посвящен особенностям проектирования машин легкой промышленности с механическими усилителями мощности и другими рычажными механизмами. Рассматриваются системы путевого управления, следящие системы, системы с разгруженными программоносителями.

Теоретические и практические разработки положены в основу новых технических решений, защищенных девятью авторскими свидетельствами СССР.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертации решена научная проблема инвариантного моделирования и оптимизации рычажных механизмов машин легкой промышленности. Решение данной проблемы имеет важное народнохозяйственное значение, поскольку обширный спектр существующих объектноориентированных моделей механизмов и традиционных методов их оптимизации является серьезным сдерживающим фактором при внедрении современных информационных технологий в областях:

прогнозирование развития техники для легкой промышленности;

проектирование оборудования по производству кожи, меха, ПТМ и ИК, одежды, обуви и кожгалантерейных изделий;

изготовление машин и аппаратов для легкой промышленности;

производство одежды, обуви и кожгалантерейных изделий;

подготовка и переподготовка кадров для легкой промышленности.

Объекты моделирования и оптимизации описываются как компоненты единых моделей технических систем отрасли. Инвариантные модели разнородных технологических процессов и оборудования; их компоненты создаются, исследуются и оптимизируются, опираясь на современные разработки в области концептуального проектирования и систематику физических, химических и биологических эффектов.

В процессе работы над диссертацией получены следующие результаты и выводы:

I. Установлено, что в условиях интеграции производства, науки и образования практически необозримый фонд узкоспециализированных моделей технических систем легкой промышленности и методов их оптимизации накладывает существенное ограничение на активное распространение в отрасли промышленных и учебно-исследовательских систем автоматизированного проектирования, автоматизированных систем управления технологическими процессами, гибких автоматизированных производств, экспертных систем и т.п.

2. Для устранения этих ограничений разработана методика формирования обобщенных структур отрасли (метод "Кентавра"), позволяющая создавать как автономные интегрированные модели рычажных механизмов, так и единые модели технологических процессов и оборудования для легкой промышленности. Выявлено, что при компановке обобщенных структур сравнительно быстро наступает насыщение текущей инвариантной модели.

3. "Упакованы" в единую схему свыше 300 четырех-, шести-, восьмизвенных регулируемых кинематических цепей с низшими парами.

4. Синтезирована обобщенная структурная схема типовых исполнительных механизмов промышленных швейных машин.

5. Показано, что наряду с универсальными структурами можно создавать обобщенные описания определенного целевого назначения:

- структур звеньев механизмов, описаний геометрии их поперечных сечений и контуров;

- отдельных машин и автоматов;

- рабочих чертежей, общих видов машин и т.п.;

- конструктивно-унифицированных рядов машин;

- поточных линий по производству одежды, обуви и кожгалантерейных изделий;

- кожевенных, обувных или швейных машин;

- наборов технологического оборудования для предприятий легкой промышленности;

- производственных программ заводов, концернов, фирм, специализирующихся на проектировании и изготовлении оборудования для соответствующих отраслей легкой промышленности;

- УИ САПР вузов легкой промышленности;

- интегрированных производственных комплексов;

- экспертных систем;

- учебно-методических комплексов;

- аудио-визуальных пособий для изучения соответствующих дисциплин по специальностям вузов легкой промышленности и т.п.

6. Доказана приемлемость метода деревьев логических возможностей для декомпозиции обобщенных структур рычажных механизмов и отдельных объектов исследования на элементарные составляющие. Компонентами ветвей служат расчетные примитивы, предназначенные для однозначного вычисления положений характерных точек и звеньев; аналогов скоростей, ускорений, рывков; реакций в кинематических парах; вектор-моментов и других статических, динамических и точностных характеристик. Методика моделирования позволяет выделить только приемлемые решения, т.е. посредством технических средств САПР отсечь лишние ветви деревьев и понизить ранг каждого из них до 1. Она опирается на блочно-модульный принцип построения списковых структур объектов моделирования и позволяет "просматривать" все возможные сборки, лежащие в сфере интересов

пользователя.

7. Предложена новая концепция моделирования рычажных механизмов III и более высоких классов. Здесь получают табулированно заданные "неявные" характеристики объектов исследования. Преобразование "неявных" функций к "явному" виду производится за три этапа адаптированными методами сортировки и поиска. Создана методика определения локальных экстремумов на базе стратегии прогнозирования крайних положений рычажных механизмов и итерационных алгоритмов.

8. Обращено внимание на то, что при проектировании и совершенствовании машин легкой промышленности приоритетными являются задачи метрического синтеза, направленные на обеспечение требуемых законов движения исполнительных инструментов. Для формирования целевых функций пользователю предлагается меню требуемых законов движения и возможность их конструирования по блочно-модульному принципу. Вся совокупность законов движения представляется в виде единой модели (круговой граф-схемы). Основными модулями служат простые функции интерполяции, сглаживания или аппроксимации из имеющегося математического обеспечения САПР.

9. Доказано, что функциональное назначение многих машин легкой промышленности требует учитывать не заданные законы движения исполнительных инструментов, а области устойчивой реализации рабочих процессов W_3 . Положения характерных точек рабочих инструментов в машине также целесообразно описывать областью W_M .

Для обеспечения условия $W_M \subset W_3$ разработан метод мимикрии. Здесь формирование целевой функции производится с привлечением различных мер близости: коэффициента композиционного сходства, расстояния Хемминга, коэффициента генетического сходства по Неи, других критериев кластерного анализа.

10. Создан эвристический метод оптимизации рычажных усилителей мощности, который дает возможность эффективно проводить как структурный, так и метрический синтез.

11. Выдвинута гипотеза, что в процессе биологической эволюции производится не только селекция живых существ с лучшими свойствами, но и осуществляется отбор оптимизационных алгоритмов, которые по многим характеристикам превосходят созданные человеком. Учитывая это обстоятельство, поиск оптимальных параметров рычажных механизмов машин легкой промышленности предлагается осуществлять с помощью псевдобиологических методов, сущность которых составляют упрощенные процессы (генная, хромосомная мутации, рекомбинация, селекция и изоляция) синтетической теории эволюции.

Для реализации методов разработан интегральный моделирующий алгоритм. Созданы теоретические предпосылки псевдобиологических методов оптимизации механизмов.

12. Впервые с помощью автоматизированных измерительных комплексов Coordiment Data Procesing Systems - Model C (Швеция) и Opton (ФРГ) выполнен комплексный метрологический анализ типовых деталей рычажных механизмов швейных машин на Оршанском ПО "Промшеймаш", концерне "Подольск", TU Braunschweig.

13. Разработана концепция моделирования процесса производства, сборки и функционирования рычажных механизмов. Она реализована при исследовании усилителей мощности и типовых рычажных механизмов швейных и обувных машин по заказу отраслевых машиностроительных предприятий и конструкторских бюро.

Установлено - чаще всего закон нормального распределения для характерных точек на плоскости и в пространстве при фиксированных положениях входных звеньев встречается в промежуточных положениях механизмов. Ориентация осей эллипсов рассеивания может быть любой.

14. Доказано, что отдельные характеристики (траектории движения характерных точек транспортирующих реек, годографы давлений в кинематических парах и т.п.) можно рассматривать как случайные процессы, описываемые с помощью тригонометрических рядов Эйлера-Фурье.

15. Для решения практических задач разработана методика автоматизированного получения произвольных характеристик рычажных механизмов в виде призмограмм или поверхностей распределения. Выявлено, что многие допуски на параметры машин легкой промышленности необоснованно завышены, а отдельные из них могут быть расширены более чем в 10 раз.

16. Обоснована эффективность поиска рациональных микро- и макропараметров с привлечением псевдобиологических методов оптимизации рычажных механизмов.

17. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана технология автоматизированного проектирования машин легкой промышленности в условиях учебно-исследовательской (УИ) САПР. Она нашла отражение в технических и рабочих проектах, выполненных по заданиям Гособразования СССР I.2.55 и 3.I.43. Проекты защищены в комиссиях "Машиностроение", "Легкая и пищевая промышленность" координационного Совета по проблеме САПР Гособразования СССР 17 ноября 1987 года в Московском авиационном институте. Технология автоматизированного проектирования машин легкой промышленности в 1987-1988 гг. демонстрировалась на выставке работ вузов страны "Достижения в создании и производстве учебной техники", которую проводило Всесоюзное специализированное объединение "Союзучприбор". По оценке оргкомитета выставки "Разработка" вызвала интерес у посетителей и отмечается в числе экспонатов, наиболее полно отвечающих современному уровню и задачам

перспективного развития технических средств обучения.

I8. Выполнен комплекс исследований в рамках работ по конверсии (см.приказ Министерства оборонной промышленности СССР о разработке оборудования для легкой промышленности от 28.03.89) и реализации других заданий промышленности по направлению "Решение проблемных вопросов создания швейных машин и агрегатированных рабочих мест для производства одежды и изделий из кожи".

При этом получена серия новых технических решений. Девять из них защищены авторскими свидетельствами СССР.

Экономический эффект от внедрения разработок, выполненных при активном участии автора составляет около миллиона рублей. По результатам внедрения изобретений в народное хозяйство автору диссертации присвоено звание "Изобретатель СССР".

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ

I. Гусаров А.В. Разработка конструкции и исследование механизма-усилителя Ш класса. Тезисы Московской городской научно-технической конференции. М.: МТИ, I969.

2. Гусаров А.В., Комиссаров А.И., Жуковский С.И. Устройство для перемещения деталей в швейных полуавтоматах: А.с. 335312 СССР: Опубликовано II.04.72, бюллетень № I3.

3. Гусаров А.В., Комиссаров А.И. Устройство для дискретного перемещения обрабатываемых деталей: А.с. 452639 СССР: Опубликовано 5.I2.74, бюллетень № 45.

4. Гусаров А.В., Комиссаров А.И. Система управления швейным полуавтоматом для выполнения строчек по заданному контуру: А.с. 44I370 СССР: Опубликовано 30.05.75, бюллетень № 32.

5. Гусаров А.В., Комиссаров А.И., Якунин В.А. Устройство для перемещения деталей по заданному контуру: А.с. 482521 СССР: Опубликовано 30.08.75, бюллетень № 38.

6. Гусаров А.В.,Комиссаров А.И. Анализ механизма Ш класса с одной поступательной парой. Научные труды МТИЛП. М.: МТИЛП, I974, № 40.

7. Гусаров А.В., Комиссаров А.И. Устройство для перемещения каретки вырубочного пресса: А.с. 436665 СССР: Опубликовано 30.I2.74, бюллетень № 27.

8. Гусаров А.В. и др. Устройство для перемещения деталей в швейном полуавтомате: А.с. 594226 СССР: Опубликовано 25.02.78, бюллетень № 7.

9. Гусаров А.В. Контурно-микропозиционная система с разгруженными программоносителями./В сб.: Оборудование для легкой промышленности. М.: ЦНИИТЭИлегпром, I974, вып.7.

I0. Гусаров А.В. Механическая система управления с импульсным усилителем мощности. /В сб.: Оборудование для легкой промышленности. М.: ЦНИИТЭИлегпром, I974, вып.8.

II. Гусаров А.В. Старт-стопная система на основе усилителя мощности с рациональной организацией сил сопротивления на управляющем звене./В сб.: Оборудование для легкой промышленности. М.: ЦНИИТЭИлегпром, I974, вып.9.

I2. Гусаров А.В. Следящая микропозиционная система с механическим усилителем мощности./ В сб.: Оборудование для легкой промышленности. М.: ЦНИИТЭИлегпром, I974, вып.I0.

I3. Гусаров А.В., Комиссаров А.И., Фомичев В.И.Основные направления в конструировании оборудования легкой промышленности на основе усилителей с кинематическими связями. М.:ЦНИИТЭИлегпром, I976.

I4. Гусаров А.В. и др. Устройство для определения механического состояния швейных машин: А.с. 436665 СССР. Опубликовано 30.09.78, бюллетень № 25.

15. Гусаров А.В. Методические указания по использованию системы обратной связи на лекции. М.: МТИЛП, 1979.

16. Гусаров А.В., Комиссаров А.И. Устройство для перемещения детали по заданному контуру на швейной машине: А.с. 796270 СССР: Опубликовано 15.01.81, бюллетень № 2.

17. Гусаров А.В., Крапивин Н.И., Катасонова В.Т. Лекции сценарии по теоретической механике с использованием обратной связи и учебного телевидения. /В сб.: Комплексное применение технических средств обучения. М.: Московское общество приборостроительной промышленности, 1981.

18. Гусаров А.В. Об одном методе решения конструкторских задач при автоматизированном проектировании технологического оборудования. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Автоматизация технологических процессов легкой промышленности". М.: МТИЛП, 1982.

19. Гусаров А.В., Крапивин Н.И., Катасонова В.Т. Методические основы применения аудиовизуальных средств в учебном процессе. /В сб.: Разработка дидактических и методических основ применения аудио-визуальных пособий. - Воронеж: ВГУ, 1982.

20. Гусаров А.В. и др. Устройство для окантовывания тесьмой срезов деталей на швейной машине: А.с. 962366 СССР: Опубликовано 30.09.82, бюллетень №36.

21. Гусаров А.В. Технические средств обучения в институте./В сб.: Методические рекомендации по применению ТСО в учебном процессе. М.: МТИЛП, 1982.

22. Гусаров А.В. Анализ и синтез многозвенных механизмов с использованием ЕС ЭВМ. М.: МТИЛП, 1983.

23. Гусаров А.В., Катасонова В.Т., Крапивин Н.И. Разработка статической видеопрограммы для замкнутого вузовского телевидения. Тезисы Всесоюзной конференции. Научные основы разработки и внедрения ТСО. М.: МИФИ, 1984.

24. Гусаров А.В. Контроль знаний студентов с помощью ЭВМ. Тезисы Всесоюзной научно-методической конференции "Пути повышения качества подготовки инженерных кадров для текстильной и легкой промышленности. М.: МТИ, 1984.

25. Гусаров А.В., Комиссаров А.И. Формирование целевой функции синтеза механизма с двумя ведущими звеньями для отклонения иглы. Изв.вузов.Технология легкой промышленности. 1985,№1.

26. Гусаров А.В., Комиссаров А.И. Программа дисциплины "Технология легкой промышленности" для вузших учебных заведений по специальности 0569 "Машины и аппараты легкой промышленности" М.: УМО Минвуза СССР, 1985.

27. Гусаров А.В., Лопухина И.В., Комиссаров А.И. Программа дисциплины "Машины и аппараты обувного производства" для высших учебных заведений по специальностям 1108 "Технология изделий из кожи" и 1113 "Конструирование изделий из кожи". М.: УМО Минвуза СССР, 1985.

28. Гусаров А.В., Лопухина И.В. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Машины и аппараты обувного производства" для специальностей 1108, 1113. М.: МТИЛП, 1985.

29. Гусаров А.В., Комиссаров А.И. Автоматизированное проектирование механизма для отклонения иглы машины типа 1026 класса. Изв.вузов.Технология легкой промышленности, 1985, №2.

30. Гусаров А.В. Разработка "меню" для решения в диалоговом режиме задач автоматизированного проектирования машин для легкой промышленности./В сб.: Совершенствование техники и технологии и улучшение качества изделий легкой промышленно-

сти. М.: МТИЛП, 1986.

31. Гусаров А.В., Катасонова В.Т., Крапивин Н.И. Раздаточные материалы для графпроектов, особенности их разработки и применения. Тезисы докладов на Всесоюзном семинаре "Методически разрабстки и их применение в процессе обучения" М.: ВСНТО, 1986.

32. Гусаров А.В., Григорьев В.А., Комиссаров А.И. Агрегатирование машин для сборки заготовок верха полимерно-текстильной обуви. /В сб.: Трудосберегающая технология и техническое перевооружение в легкой промышленности. М.: МДНТП, 1985.

33. Гусаров А.В. Формирование навыков автоматизированного проектирования машин при выполнении УИРС./В сб.: Учебно-методические рекомендации по использованию различных методов и средств обучения. М.: МТИЛП, 1987.

34. Гусаров А.В., Симаков В.И., Кузьмин Д.Л. Опыт разработки конструкторской документации с использованием технических средств САПР. Научные труды МТИЛП. М.: МТИЛП, 1986.

35. Гусаров А.В. Автоматизация проектирования оборудования для легкой промышленности в условиях формализуемых и неформализуемых ограничений. Тезисы научно-практической конференции секции "САПР легкой и текстильной промышленности" Головного Совета Минвуза РСФСР по проблеме САПР - Дмитровоград, 1987.

36. Гусаров А.В. Методы инженерного прогнозирования. М.: МТИЛП, 1988.

37. Гусаров А.В. Опыт подготовки специалистов для машиностроения легкой промышленности в области САПР. Тезисы докладов научно-методической конференции "Проблемы интеграции образования и науки. М.: ВНИИТЭМР и МОССТАНКИН, 1990.

38. Закарая М.М., Гусаров А.В., Сторожев В.В. Анализ структурных ошибок в механизмах перемещения материала швейных машин беспосадочного шва. Сборник научных трудов МТИЛП, М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1990.

39. Гусаров А.В. Совершенствование конструкций машин и подготовка специалистов для легкой промышленности с помощью технических средств САПР /В сб.: Основные направления технического перевооружения предприятий легкой промышленности. М.: МДНП, 1990.

40. Гусаров А.В. Информационное обеспечение САПР швейных машин. /В сб.: Комплексная механизация производственных процессов легкой промышленности. М.: МТИЛП, 1990.

41. Гусаров А.В. Метод мимикрии для решения задач синтеза шарнирно-рычажных механизмов машин легкой промышленности. Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности, 1992, №1.

42. Gusarow A.W. Algorithmus zum Aufbau mechanischer Verstarker. IGTMD, RWTH Aachen, 1977.

43. Gusarow A.W. Aufbau mechanischer Leistungsverstarker. Industrie Anzeiger. 1977, N 77.

44. Gusarow A.W. Fragen der Zahl - und Mabsynthese von Gelenkleistungs-verstarkern. IFKLMFE, TU Braunschweig, 1977.

45. Gusarow A.W. Uber Analyse und Sunthese mechanischer Gelerkgetriebe-Verstarker. LFKW, TU Munchen, 1977.

46. Gusarow A.W. Mechanische Verstarker-getriebe in der Leichtindustrie. - Bielefeld: Durkoppwerke GMBH, 1977.

47. Gusarow A.W. Allgemeines uber den Aufbau der Gelenkleistungs-verstarker. IFAKTM, RWTH Aachen, 1977.

48. Gusarow A. W. Grundlagen uber den Aufbau Gelenkleistungswandler. 71 Sektionskolloquiums der Sektion Textil - und Ledertechnik, TU Karl-Marx-Stadt, 1988.

Ротапринт МТИЛП. Заказ № 484.