

М435873

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР**

**МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА**

На правах рукописи

МИКИТЯНСКИЙ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ

УДК 621.9.07:001.2

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТОЧНОСТЬ
И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ**

**Специальности: 05.02.08 — Технология машиностроения,
01.02.06 — Динамика, прочность машин,
приборов и аппаратуры**

А в т о р е ф е р а т

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Москва—1986

Работа выполнена во Фрунзенском политехническом институте Министерства высшего и среднего специального образования Киргизской ССР.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РСФСР
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РСФСР
доктор технических наук, профессор

А. В. ПОДЗЕЙ,

**Э. В. РЫЖОВ,
А. П. БАБИЧЕВ.**

Ведущая организация — Научно-исследовательский и проектно-технологический институт машиностроения (НИИПТМАШ), г. Краматорск.

Защита состоится „18“ июня 1986 г. на заседании специализированного совета Д 053.15.04 при Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н. Э. Баумана по адресу: 107005 Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

в библиотеке МВТУ им. Н. Э. Бау-

ре, заверенный печатью, просим

_____ 1986 г.

Б. А. УСОВ

М435873

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. "Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года" в числе главных задач предусмотрена широкая интенсификация машиностроительного производства, ускорение темпов научно-технического прогресса, рост производительности труда, улучшение качества работ.

Эффективность современного промышленного предприятия все более определяется скоростью освоения производства изделий, размерами трудовых затрат на разработку и оснащение технологии производства. Впервые в программном документе сказано: "Увеличить производство автоматизированных и роботизированных комплексов и линий, гибких производственных систем металлообработки, прогрессивного инструмента и технологической оснастки..."

В настоящее время до 70% трудозатрат, связанных с подготовкой производства новых изделий, приходится на проектирование и изготовление технологической оснастки.

Экономические расчеты и опыт передовых предприятий показывают, что повышение уровня применения технологической оснастки и ее качества на 50-60% реально сократит время и затраты на технологическую подготовку в 3-5 раз, даст экономию металла ежегодно до 300 тыс. тонн, высвободит из сферы технологической подготовки производства до 200 тыс. инженерного персонала, даст народному хозяйству экономию не менее 1,5 млрд. рублей.

Станочное приспособление (СП) оказывает значительное влияние на точность и производительность обработки деталей, от СП зависят применяемые режимы резания, затраты вспомогательного времени, жесткость и виброустойчивость технологической системы, точность установки и расширение технологических возможностей оборудования.

Традиционные методы проектирования СП в современных условиях оказываются неэффективными: многовариантность и широкий диапазон возможных решений, число подлежащих рассмотрению альтернатив исключает возможность полного перебора и анализа качества всех вариантов. Конструирование СП традиционными методами в большей степени оказывается субъективным, основанным на интуитивном поиске наилучших решений, при отсутствии дол-

I

НТБ МГТУ им. Н. Э. Баумана



1435873



Микитянский В. В. Совершенств

жной научной проработки.

Только глубокие научные исследования физических процессов, происходящих при установке и зажиме заготовки, взаимовлияния СП и узлов технологической системы на статические и динамические характеристики, могут составить в совокупности основы научного конструирования, при широком использовании ЭВМ.

Современная тенденция к созданию высокоавтоматизированного производства, оснащенного робототехническими комплексами, линиями и модулями гибких перенастраиваемых систем, требует новых научных обобщений, иного методологического подхода к проектированию приспособлений.

Несмотря на большой опыт, положительные традиции и сложившуюся практику проектирования СП различных типов как в Советском Союзе, так и за рубежом, вопросы оптимального проектирования и расчетов СП до настоящего времени разработаны недостаточно, что тормозит широкое внедрение САПР приспособлений. Решение этих вопросов — важная актуальная задача машиностроения.

Цель работы. Повышение точности и производительности механической обработки путем применения совершенных конструкций станочных приспособлений, создаваемых на основе новых методов оптимального проектирования с учетом статических и динамических явлений в технологической системе, при широком использовании ЭВМ.

Методика выполнения исследований. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории точности, теории колебаний и динамики станков с помощью специально разработанных программ для ЭВМ.

Большое развитие в работе получило практическое применение теории подобия и анализа размерностей, применялись основные положения теории математического моделирования и численные методы решения теории дифференциальных уравнений с применением ЭВМ. При экспериментальных исследованиях широко применялись методы статистического анализа, методы виброметрии, осциллографирования и тензометрии.

Научная новизна.

I. Установлены закономерности влияния статических и динамических параметров станочных приспособлений на характерис-

тики технологической системы при достижении заданной точности и производительности обработки.

2. Изучен механизм образования погрешностей обработки на основе анализа универсальных динамических и математических моделей приспособлений и станочного оборудования при явлениях деформации, изнашивания и колебаний в системе.

3. Вскрыты причины падения надежности закрепления заготовок в приспособлениях и разработаны новые аналитические и статистические методы расчетов сил зажима.

4. Показана возможность управления выходными параметрами точности и производительности обработки при вариациях статических и динамических характеристик компоновочных решений станочных приспособлений в условиях известной технологической системы.

5. Выявлены возможности и разработаны методы применения теории подобия, теории чувствительности и оптимизации при создании единого алгоритма проектирования совершенных конструкций приспособлений, отражающих единство и взаимосвязь с параметрами технологической системы.

6. Разработан новый расчетный аппарат для проектирования СП, который рассматривается как последовательный процесс решения многокритериальных задач структурного синтеза.

Практическая ценность. Результаты выполненных исследований содержат практические рекомендации по уточнению структуры этапов конструирования СП, расчеты статических и динамических характеристик элементов СП и их компоновок, методику расчетов погрешностей установки, уточнение расчетных сил закрепления заготовок, а также методы укрупненных инженерных расчетов и выбора основных параметров СП.

Методы расчетов имеют общий характер, ориентированы на типичные конструктивные схемы СП и предназначены для применения вне зависимости от функционального назначения проектируемой конструкции или технологической системы.

Сформулированы типовые детерминированные задачи оптимального параметрического синтеза, приведены алгоритмы их решения, созданы программы для решения на ЭВМ типовых задач проектирования СП.

Раскрыты наиболее важные с практической точки зрения особенности процессов взаимодействия СП с технологической систе-

мой в процессе обработки и влияния СП на основные показатели точности и производительности.

Реализация работы. Методики расчетов точности, динамических и статических характеристик, сил зажима и выбора компоновочного решения, используются в виде руководящих технических материалов (РТМ) в проектных организациях и КБ ряда машиностроительных заводов в г.Москве, Фрунзе, Краматорске, Брянске, Джалал-Абаде и др.

Под руководством и участия автора разработана гамма универсальных двухповоротных столов, защищенных авторскими свидетельствами (а.с. № 918026), внедрение которых дает экономический эффект более 200 тыс.руб. В конструкторских и технологических бюро заводов Киргизии проектирование и изготовление технологической оснастки выполняется по руководящим материалам автора, общий экономический эффект которых составляет до 500 тыс.руб. в год.

Теоретические и практические разработки автора вошли в планы реализации целевых комплексных программ АН СССР и АН Кирг.ССР. (Технологическое оснащение ГАП).

Все выполненные и выполняемые работы по внедрению в промышленность современной технологической оснастки, созданной автором и под его руководством на основе его теоретических разработок, составляют суммарный экономический эффект свыше 1,5 млн. рублей.

Основные результаты исследований вошли в справочную литературу: Справочник технолога-машиностроителя, М.:т. I, под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К., 1972 и в справочник "Станочные приспособления", М.:т. I, 1984, под ред. Шатилова А.А., а также изложены в 3-х монографиях автора.

По материалам исследований разработаны РТМ-83 "Методики расчетов станочных приспособлений на ЭВМ" и РТМ-24-78 "Методики расчета времени надежной работы приспособления с сохранением заданной точности".

Основные результаты и методы исследований широко используются в учебном процессе кафедр технологии машиностроения ФПИ, БИТМ, МВТУ и др. вузах страны. Автором написано ряд учебных пособий для студентов, в том числе "Расчеты точности станочных приспособлений"(6п.л.), "Расчеты приспособлений на ЭВМ"(3 п.л.).

Апробация работы. По материалам диссертации сделано 46 научных докладов на международных, всесоюзных, региональных и республиканских конференциях, семинарах и советаниях, посвященных проблемным вопросам автоматизации производства, исследованию и перспективам развития станочных приспособлений, проблемам совершенствования технологических процессов, точности и производительности обработки.

Полное содержание диссертации обсуждалось во Фрунзенском политехническом институте на кафедре технологии машиностроения, на семинаре Научно-технического совета механико-машиностроительного факультета (1982, 1984 г.г.); на секции НТС института "Теория рабочих процессов в машиностроении" (1985 г.), а также на кафедре технологии механо-сборочного производства МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1980, 1984 и 1985 г.г. Работа докладывалась на научном семинаре "САПР ТП" в МВТУ им. Н.Э.Баумана (1982 г.), на заседании Ученого Совета НИИПТМаш (г.Краматорск) в 1985 году.

Научные разработки автора неоднократно докладывались на технических советах ряда машиностроительных заводов. Теоретические и практические результаты отражены в госбюджетных отчетах по НИР за период 1970 - 85 г.г., а также в отчетах, выполненных по договорам о творческом содружестве с Институтом сверхтвердых материалов АН УССР (г.Киев), Институтом технической кибернетики АН БССР (г.Минск), по программе отделения трения и смазки АН СССР.

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано более 130 работ, освещающих основные положения и результаты диссертации. Из них: 3 монографии, 4 брошюры, 4 авторских свидетельства, 6 методических пособий, 2 учебных пособия, более 100 научных статей в различных технических журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из основной части и приложения (отдельный том).

Основная часть содержит 10 разделов, включающих: введение, основные проблемы теории проектирования СП; сущность деформационных явлений в приспособлениях; колебания в технологической системе и роль СП; анализ статической и динамической точности СП; обеспечение износостойкости и надежности зажимных устройств СП; синтез динамических параметров СП на базе теории подобия и

анализа размерностей; теоретическое обоснование связи динамических параметров СП с упругой системой станка; принципы структурного анализа и оптимизации параметров СП; производительность и экономическая эффективность применения расчетных СП; заключение и приложение. В основной части 390 стр., текст 260, табл. 65, иллюстраций 180, список литературы 228 наименований.

В приложении приведены: перечень отчетов по НИР при участии и под руководством автора; руководящие технические материалы, сведения об использовании и эффективности внедрения результатов диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Показана и обоснована актуальность проблемы создания теоретических основ оптимального проектирования точных, надежных и виброустойчивых СП. Раскрыта роль СП в машиностроении, их большое народно-хозяйственное значение. Сформулированы цель настоящей работы и новые научные достижения, защищаемые автором.

Глава I. Основные проблемы проектирования СП. Высокая долговечность, точность, а также надежность закрепления заготовок в требуемом положении и сохранение этого положения на всем протяжении времени обработки – важнейшие свойства СП для прецизионных станков, станков с программным управлением, обрабатывающих центров и гибких модулей.

Наблюдаемые во многих случаях несоответствия конструкций СП современным высокопроизводительным и точным станкам объясняются тем, что теоретические и экспериментальные исследования в значительной мере отстают от практических потребностей и разработок; при этом недостаточно используются современные методы поиска новых технических решений и методы оптимизации структур, схем и параметров этих устройств.

Главным методом в новых условиях выступает системный подход, который обязывает проектировщика оснастки глубоко понимать место приспособления в иерархии технологической системы, взаимовлияние статических и динамических характеристик всех ее элементов.

Вопросами исследования и создания прогрессивной оснастки занимались и занимаются ученые и специалисты ведущих вузов

страны - МВТУ им. Н.Э.Баумана, Мосстанкина, Ленинградского, Киевского, Брянского, Фрунзенского и др. политехнических вузов; научно-исследовательских институтов и проектных организаций - ЭНИМС, Оргстанкинпром, ИТК АН БССР (г.Минск), НИИПТМаш (г.Краматорск), Союзтехоснастка (г.Харьков), ИСМ АМ УССР, Одесское СГБ и др. Большое число работ советских и зарубежных ученых свидетельствует о важности исследования технологической оснастки.

Анализ ранее выполненных исследований в области проектирования и создания СП позволяет сделать следующие выводы:

1. Существующие работы разрознены и нет единого научного подхода к проектированию СП, фактически отсутствуют теоретические основы оптимального структурного и параметрического синтеза как последовательного процесса решения многопараметрических и многокритериальных задач.

2. Экспериментально установлено существенное влияние СП на основные показатели динамического качества станка, точность и производительность обработки. Однако, отсутствуют теоретические и экспериментальные исследования виброустойчивости технологической системы при использовании приспособлений, не установлены законы взаимовлияния станка и приспособления по их динамическим параметрам; отсутствуют аналитические зависимости между характеристиками зажима (силой, точностью, жесткостью) и параметрами процесса обработки (точностью и производительностью обработки).

В соответствии с поставленной целью и анализом основных проблем теории проектирования СП в работе поставлены следующие задачи:

1. Сформулировать требования, предъявляемые к СП в условиях современного производства, изучить характеристики СП и их влияние на основные показатели статического и динамического качества технологической системы, точность и производительность обработки.

2. Изучить процессы и явления в СП, выполнить анализ факторов, влияющих на основные характеристики СП; исследовать механизм образования погрешностей, вскрыть закономерности надежного закрепления заготовок, изучить процессы деформирования и изнашивания.

3. Разработать принципы оптимального проектирования СП, включающие выбор принципа обеспечения точности, методов

структурного и параметрического синтеза при соответствующих критериях оптимальности.

4. Изучить на динамических и математических моделях связи СП с технологической системой.

5. Разработать руководящие технические материалы и расчетный аппарат оптимального конструирования СП для автоматизированного их проектирования.

6. Провести опытно-конструкторские работы по созданию прогрессивных конструкций СП, выполнить экспериментальные исследования и производственные испытания новых конструкций с оптимальными параметрами, внедрить результаты диссертации в машиностроение на основе разработанных РТМ и широкого использования ЭВМ.

Глава 2. Анализ статической и динамической точности СП. Развитие вопроса определения статической погрешности приспособлений представляется в углублении общего метода расчета уравнения точности по линии его строгой математической обработки с использованием вероятностных оценок для каждой входящей составляющей. Такой метод расчета позволяет использовать анализ структурных схем для выявления роли каждого узла в формировании результирующей погрешности приспособлений и создать предпосылки для оптимизации структурной схемы при машинном проектировании.

Любое приспособление можно рассматривать как некоторое устройство, предназначенное для обеспечения заданной точности координирующего размера по различным параметрам (допустимому отклонению от параллельности, соосности, перпендикулярности и т.д.). Размер заготовки, подлежащей обработке на данной операции, принимаем за входную величину X . Под действием внутренних $(q_1, \dots, q_n)$ и внешних $(Z_1, \dots, Z_k)$ факторов, связанных с приспособлением, заданная входная величина X изменяется, преобразуясь в выходную величину Y . За Y принимаем размер, определяющий положение обрабатываемой поверхности с учетом погрешности установки.

Погрешность приспособления, разложенная в ряд Тейлора и ограниченная линейными членами разложения, получена в виде

$$\Delta Y = \underbrace{f(X, q_{10}, \dots, q_{n0}) - f_0(X)}_{\text{I}} + \underbrace{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial q_i} \right)_0 \Delta q_i}_{\text{II}} + \underbrace{\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\partial f}{\partial q_i} \right\} \sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial q_i}{\partial Z_j} \right)_0 \Delta Z_j}_{\text{III}}, \quad (4)$$

где I - погрешность, аналогичная погрешности базирования;

II – погрешность, аналогичная по своему содержанию погрешности, связанной с приспособлением; III – погрешность, соответствующая погрешности закрепления. Частные производные в уравнении (I) являются коэффициентами влияния i -той первичной погрешности на общую погрешность приспособления. Из (I) следует, что статическая погрешность СП может быть уменьшена не только уменьшением числа первичных погрешностей и их величин, но и изменением коэффициентов влияния.

Уравнение погрешностей приспособления позволяет произвести вероятностный анализ с целью определения законов распределения относительной погрешности СП, попадания погрешности установки в заданное поле допуска, а также для обоснования величины допуска на установку при заданной вероятности. При этом считаем, что все первичные погрешности являются случайными величинами, каждая из которых характеризуется своими законами распределения.

Приведенное в работе изложение вероятностного метода оценки статических погрешностей позволяет целенаправленно решать вопросы совершенствования расчетов точности приспособлений с помощью вычислительной техники при машинном методе проектирования.

Приспособление, представляя собой часть упругой технологической системы, влияет на ее динамические показатели, это влияние проявляется при близости собственных частот его элементов и элементов главного контура связи динамической системы СПИД через воздействие парциальных колебательных систем.

Численная оценка динамической точности СП представляет еще трудную задачу, однако стало возможным показать пути формализации таких расчетов, которые могут быть использованы в автоматизированном проектировании.

Величина динамической погрешности существенно зависит от возмущающих воздействий и, в зависимости от свойств последних, исследовались различные подходы: при детерминированных воздействиях, при воздействиях, ограниченных по модулю, при случайных воздействиях, при изменении параметров приспособления.

Расчеты динамических погрешностей, вызванных случайными изменениями параметров во времени, выполнены с помощью методов теории чувствительности, в которых функции чувствительности характеризуют влияние отклонения параметров системы на

изменение выходной величины.

Анализ результатов экспериментальной проверки показал, что суммарная погрешность, зависящая от приспособления, составляет до 40% при черновой и до 60% при чистовой обработке. При этом, применение приспособления с расчетными динамическими параметрами позволяет повысить достигаемую точность на 1-2 квалитета.

Глава 3. Колебания в технологической системе и роль СП. Рассматривая приспособление как элемент системы СПИД, имеющих определенную автономность, свои функции и задачи, сделана попытка найти роль и место приспособлений в общей динамической системе, характеризующейся рядом динамических параметров, определяющих ее устойчивость, жесткость, способность рассеивать энергию, колебаться с определенной частотой. В главе решались задачи экспериментальной оценки влияния колебаний технологической системы при резании на выполняемые приспособлением функции и влияние параметров СП на предельные режимы и качество обработки. С этой целью производилась регистрация абсолютных и относительных колебаний элементов системы СПИД и определение динамических характеристик исследуемых приспособлений.

Для экспериментальных исследований непосредственно в процессе резания создана установка на базе широкоуниверсального фрезерного станка 675П повышенной точности, оснащенная комплектом виброизмерительной аппаратуры фирмы RFT. Абсолютные колебания регистрировались пьезодатчиками КД-35 через усилитель 3м-241 и самописцы НЗЗ8 или осциллограф. Относительные колебания шпинделя и приспособления - с помощью индуктивного бесконтактного датчика УМВ-102 и усилительно-питающего устройства ИМ-111.

Эксперименты с различными СП показали, что на уровень колебаний холостого хода приспособление не оказывает существенного влияния, тогда как при резании амплитуда колебаний приспособлений резко отлична от колебаний стола станка, что влияет на параметры качества.

Для подтверждения влияния динамических параметров приспособлений на допустимые режимы резания, проведена специальная серия экспериментов на примере торцевого фрезерования. Фиксировались амплитуды колебаний, предельная глубина резания и подача в зависимости от применяемого приспособления. Обра-

10

ботка результатов позволила установить области устойчивого фрезерования в зависимости от параметров СП.

В главе изложены результаты анализа влияния колебаний системы на появление дополнительных погрешностей обработки и разработаны рекомендации по уточнению методики расчетов точности приспособлений.

Предложено уточнение состава одной из важнейших погрешностей обработки – погрешности, связанной с деформацией технологической системы, в состав которой дополнительно включены погрешности, вызванные колебательным процессом и связанные с упругими деформациями под действием переменных сил резания ($\Delta y_{\text{пр}}$).

Исследована составляющая погрешности, вызванная пластическими деформациями в стыках "опора-заготовка" под действием колебаний и связанная с продолжительностью обработки ($\varepsilon_{\text{пл}}$). В основу расчета этой погрешности положены исследования поведения стыка при колебаниях и использована теория упруго-пластического контактирования в условиях предварительного смещения.

На примере расчета пластической деформации показано, что она может составлять до 30% от деформации, вызванной этой же силой при отсутствии колебаний. При колебаниях в плоскости стыка величина пластических деформаций значительно возрастает и может превышать статические в 2–2,5 раза. Расчеты величин пластических деформаций на примере торцевого фрезерования показали, что погрешности, вызванные этими деформациями, могут достигать 10–15% суммарной погрешности обработки.

Экспериментальные исследования подтвердили значимость динамических параметров приспособлений в достижении точности, качества и производительных режимов обработки и позволили установить качественные и количественные соотношения с параметрами технологической системы.

Глава 4. Теоретическое обоснование связи динамических параметров приспособления с упругой системой станка. Станочное приспособление, являясь дополнительным устройством технологической системы, оказывает воздействие своими параметрами на динамические характеристики всей системы и выходные параметры обработанной заготовки.

Анализ чувствительности динамических характеристик выходной функции, выраженной через совокупность собственных частот

Таблица I. Алгоритм анализа технологической системы по динамическим параметрам с помощью теории чувствительности

I. Анализ системы по собственным характеристикам		
№	Наименование этапа	Формула расчета
1.	Составление матриц масс и коэффициентов жесткости технологической системы $[M]$, $[K]$	По экспериментальным данным измерений исследуемой технологической системы и обработанным в соответствии с методикой ЭНИМС
2.	Составление дифференциального уравнения движения принятой модели в матричной форме	$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = [0]$
3.	Определение собственных частот и собственных векторов системы $\{\omega_i\}$, $\{\Phi_i\}$	По стандартной программе, например CALL EI GEN (DEVVGM)
4.	Расчет чувствительности собственных частот и векторов системы к изменению массы приспособления $\frac{\partial \omega_i}{\partial M_j}$; $\frac{\partial \Phi_i}{\partial M_j}$	$\left\{ \frac{\partial \omega_i}{\partial M_j} \right\} = \left\{ -\frac{\omega_i^2}{2} \Phi_{jl}^2 \right\};$ при $k \neq i$: $\left[\frac{\partial \Phi_i}{\partial M_j} \right] = \sum_{k=1}^n \frac{-\omega_i^2 \Phi_{jk} \Phi_{ij}}{\omega_i^2 - \omega_k^2} \{\Phi_k\};$ при $k = i$: $\frac{\partial \Phi_{ij}}{\partial M_j} = -\frac{\Phi_{ij}^2}{2} \{\Phi_i\}.$
5.	Расчет чувствительности частот и векторов системы к изменению жесткости приспособления $\frac{\partial \omega_i}{\partial K_j}$; $\frac{\partial \Phi_i}{\partial K_j}$	$\left\{ \frac{\partial \omega_i}{\partial K_j} \right\} = \frac{1}{2\omega_i} (\Phi_{(j-1)l} - \Phi_{jl})^2;$ при $k \neq i$: $\left[\frac{\partial \Phi_i}{\partial K_j} \right] = \sum_{k=1}^n \frac{(\Phi_{(j-1)k} - \Phi_{jk})(\Phi_{(j-1)l} - \Phi_{jl})}{(\omega_i^2 - \omega_k^2)} \{\Phi_k\}^{-1}$ при $k = i$: $\left[\frac{\partial \Phi_i}{\partial K_j} \right] = [0]$
6.	Оценка влияния масс и жесткостей на собственные частоты и вектора системы	Путем сравнения результатов по численным таблицам, полученным по п.п. 4 и 5

II. Анализ технологической системы при наличии возмущений от процесса резания		
№	Наименование этапа	Формула расчета
1.	Расчет возмущающих воздействий, сил резания, частот возмущения ω и амплитуд колебаний A	По параметрам технологической системы и режимам резания
2.	Составление дифференциального уравнения движения	$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = P \sin \omega t$
3.	Расчет обобщенной массы системы для i -ой формы собственных колебаний M_i	$M_i = \sum_{j=1}^n M_j \Phi_{ji}^2$
4.	Расчет коэффициента динамической податливости β : $\beta = \frac{\text{Реакция системы}}{\text{Возмущающее воздействие}}$	$\beta(\omega) = \sum_{i=1}^n \frac{\Phi_{ji}}{M_i (\omega_i^2 - \omega^2)}$
5.	Расчет выходной динамической характеристики x_j (координаты абсолютного смещения)	$x_j = \beta \cdot P \sin \omega t = \frac{P \sin \omega t \sum \Phi_{ji}}{M_i (\omega_i^2 - \omega^2)}$
6.	Расчет чувствительности коэффициента динамической податливости к изменению массы приспособления: $\frac{\partial \beta}{\partial M_j}$	$\frac{\partial \beta}{\partial M_j} = \sum_{i=1}^n \frac{2 \Phi_{ji} \cdot \partial \Phi_{ji} / \partial M_i \cdot M_i (\omega_i^2 - \omega^2)}{[M_i (\omega_i^2 - \omega^2)]^2} - \frac{2 M_i \omega_i \partial \omega_i / \partial M_j}{[M_i (\omega_i^2 - \omega^2)]^2} - \frac{\sum_{i=1}^n (\Phi_{ji}^2 + 2 M_i \Phi_{ji} \partial \Phi_{ji} / \partial M_j) (\omega_i^2 - \omega^2)}{[M_i (\omega_i^2 - \omega^2)]^2}$
7.	Расчет чувствительности коэффициента динамической податливости изменению жесткости приспособления: $\frac{\partial \beta}{\partial K_j}$	$\frac{\partial \beta}{\partial K_j} = \sum_{i=1}^n \frac{2 M_i \Phi_{ji} (\omega_i^2 - \omega^2) \partial \Phi_{ji} / \partial K_j}{[M_i (\omega_i^2 - \omega^2)]^2} - \frac{2 \omega_i M_i \Phi_{ji}^2 \partial \omega_i / \partial K_j}{[M_i (\omega_i^2 - \omega^2)]^2}$
8.	Оценка влияния изменения параметров приспособления на коэффициент динамической податливости	Путем сравнения по численным таблицам, полученным расчетом на ЭВМ по п.п. 6 и 7

III. Анализ технологической системы при вариациях параметров СП		
№	Наименование этапа	Формула расчетов
1.	Выбор пределов возможного изменения параметров приспособления $\Delta M_j, \Delta K_j$	Из условия операции обработки при минимизации массы и жесткости приспособления
2.	Расчет новых значений динамических параметров системы с учетом вариации параметров приспособления: При вводе ΔM_j и ΔK_j	$\omega_{im}^* = \omega_i + \left\{ \frac{\partial \omega_i}{\partial M_j} \right\}^T \{ \Delta M_j \} ;$ $\omega_{ik}^* = \omega_i + \left\{ \frac{\partial \omega_i}{\partial K_j} \right\}^T \{ \Delta K_j \} ;$ где $\Delta \omega_i' = \left\{ \frac{\partial \omega_i}{\partial M_j} \right\} ;$ $\Phi_{im}^* = \Phi_i + \left\{ \frac{\partial \Phi_i}{\partial M_j} \right\}^T \{ \Delta M_j \} ;$ $\Phi_{ik}^* = \Phi_i + \left\{ \frac{\partial \Phi_i}{\partial K_j} \right\}^T \{ \Delta K_j \} .$
3.	Расчет нового значения динамической податливости β^* после введения изменения конструктивных параметров приспособления	$\beta_m^* = \beta + \left\{ \frac{\partial \beta}{\partial M_j} \right\}^T \{ \Delta M_j \} ;$ $\beta_k^* = \beta + \left\{ \frac{\partial \beta}{\partial K_j} \right\}^T \{ \Delta K_j \} .$
4.	Расчет новых выходных значений амплитуды колебаний при изменении параметров приспособления	$x^* = \beta^* P \sin \omega t$
5.	Оценка динамического качества системы при вариации параметров приспособления	Путем сравнения по численным таблицам, полученным расчетом на ЭВМ по п.п. 2,3,4.

системы и производные собственных чисел и собственных векторов дает возможность оценить степень влияния параметров приспособления на динамическое качество технологической системы. Такой метод позволит конструктору быстро выявить наиболее эффективные пути введения изменений в конструкцию СП для минимизации амплитуд колебаний выходной функции всей системы.

Динамический расчет СП (табл. I) выполняется с целью:

- оценки влияния динамических параметров проектируемой конструкции приспособления на собственные характеристики технологической системы (собственные частоты и амплитуды колебаний - собственные векторы (табл. I. I));
- анализа влияния динамических параметров приспособления на передаточную функцию системы в форме коэффициента динамической податливости и амплитуды колебаний заготовки с учетом возмущений, возникающих в процессе резания (табл. I. II);
- сравнительной оценки влияния на динамическое качество технологической системы вариации параметров приспособления для отыскания наилучшего в динамическом отношении конструктивного варианта (табл. I, III).

Таким образом, для анализа и обоснования связи динамических параметров приспособлений с упругой системой станка впервые применен метод чувствительности, основанный на расчете скорости изменения характеристик системы по параметрам ее отдельных конструктивных элементов; разработанная методика позволяет определить количественно степень участия каждого из узлов технологической системы, в том числе приспособления, в формировании динамического качества системы, выявить возможность параметрами приспособления влиять на виброустойчивость системы.

Разработанные алгоритмы и программа ФОРТРАН-IV позволили произвести расчеты на ЭВМ и выполнить анализ большой группы специальных приспособлений. Анализ дал возможность установить обоснованные границы жесткости и масс приспособлений, минимизирующие амплитуды колебаний; теоретические исследования и проверка на ЭВМ подтвердили влияние динамических параметров приспособлений на динамические характеристики технологической системы в целом.

Глава 5. Теоретические и экспериментальные исследования деформационных явлений в приспособлениях. При анализе влияния СП на точность обработки, а также при создании систем автома-

тизированного проектирования, особое внимание уделяется расчетам жесткости их конструкций.

Знание деформационных процессов, возможность расчета жесткости сочленений и их вибропоглощающих свойств с позиции точности и виброустойчивости конструкций представляет большой практический интерес в расчетах станочных приспособлений.

В работе приведены теоретические зависимости контактных перемещений и рассеяния энергии при действии внешней нагрузки, равнодействующая которой проходит через геометрический центр стыка. Относятся эти зависимости и к отдельным элементарным площадкам сочленения, испытывающим более сложное нагружение. В этом случае задача становится статически неопределимой и для расчета взаимных перемещений контактирующих деталей требуется записать не только уравнений равновесия сил, но и условий совместности деформаций.

Специфика контактирования в стыках приспособлений состоит в постоянном обновлении поверхностей контакта заготовки и элементов приспособления и в весьма значительных удельных давлениях, в пределах 10–35 МПа.

К настоящему времени накоплен большой фактический материал по исследованиям жесткости и главным образом, контактной жесткости, благодаря обширным теоретическим и экспериментальным работам проф. Рыжова Э.В., Дальского А.М., Максака В.И., Демкина Н.Б., Каминской В.В., Левиной З.М. и др., который позволил сделать обобщения и подойти к созданию единой классификации стыков, характерных для конструкций приспособлений.

В основу классификации положена идея о степенях свободы рассматриваемого стыка, отражающая влияние на стык окружающих поверхностей конструкции, а также величина удельного давления для соответствующих стыков классификации. Разделение стыков на открытые, полузакрытые и закрытые позволило сформулировать математические модели контактной жесткости, отражающие физику деформационных явлений в приспособлениях и систематизировать методы расчетов. Такая классификация полностью определила математическую модель (систему уравнений равновесия), которая предложена для каждого типа стыка.

Ввиду сложности связей между контактными напряжениями и деформациями, рассмотренные задачи решались на ЭВМ. Для инженерных расчетов эти решения сведены в номограммы.

На основании обобщений исследований многих ученых, занимавшихся жесткостью, разработан общий подход к построению математической модели условно-неподвижных соединений с использованием теории предварительных смещений.

Задача сводится к решению системы нелинейных дифференциальных уравнений, заданной по разному в областях локального проскальзывания и зонах предварительного смещения.

Разработанная методика расчета условно-неподвижных соединений позволяет проводить расчеты жесткости, прочности и демпфирования по различным программам нагружения для всех характерных стыков, встречающихся в приспособлениях.

Глава 6. Синтез динамических параметров приспособлений на базе теории подобия и анализа размерностей. При проектировании на стадии принятия компоновочных решений закладываются все основные параметры, определяющие динамическое качество системы. В связи с этим, разработан метод, который позволяет обоснованно назначать с некоторой степенью приближения динамические параметры СП при их проектировании с учетом упругой системы станка и режимов резания. Сложность поставленной задачи, ее многопараметричность и большая инвариантность потребления применения ЭВМ и создания специальной методики формализации расчетов на базе теории подобия и анализа размерностей.

Основная задача формализации расчетов при использовании анализа размерностей состоит в отыскании обобщенных безразмерных переменных, составленных из параметров рассматриваемой системы.

Предложена методика отыскания обобщенных переменных, которая может быть распространена на решение задач динамики конструкций, а также на исследования, связанные с износом и долговечностью отдельных пар сопряжений, либо конструкций в целом.

Получена общая формула построения обобщенных переменных Π_j в зависимости от параметров процесса P_i :

$$\Pi_j = P_{n+j} / \prod_{i=1}^n P_i^{D_i[1+n(j-1)]/D_0} \cdot P_j^{D_j/D_0},$$

где $D_{0,j}$ — определители системы; j — порядковый номер обобщенной переменной; i — порядковый номер базисного параметра.

Разработан алгоритм нахождения обобщенных переменных с помощью ЭВМ, позволяющий решать разнообразные задачи проектирования (рис.1). По предложенной методике на ЭВМ ЕС10-22 про-

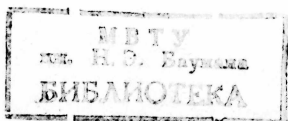
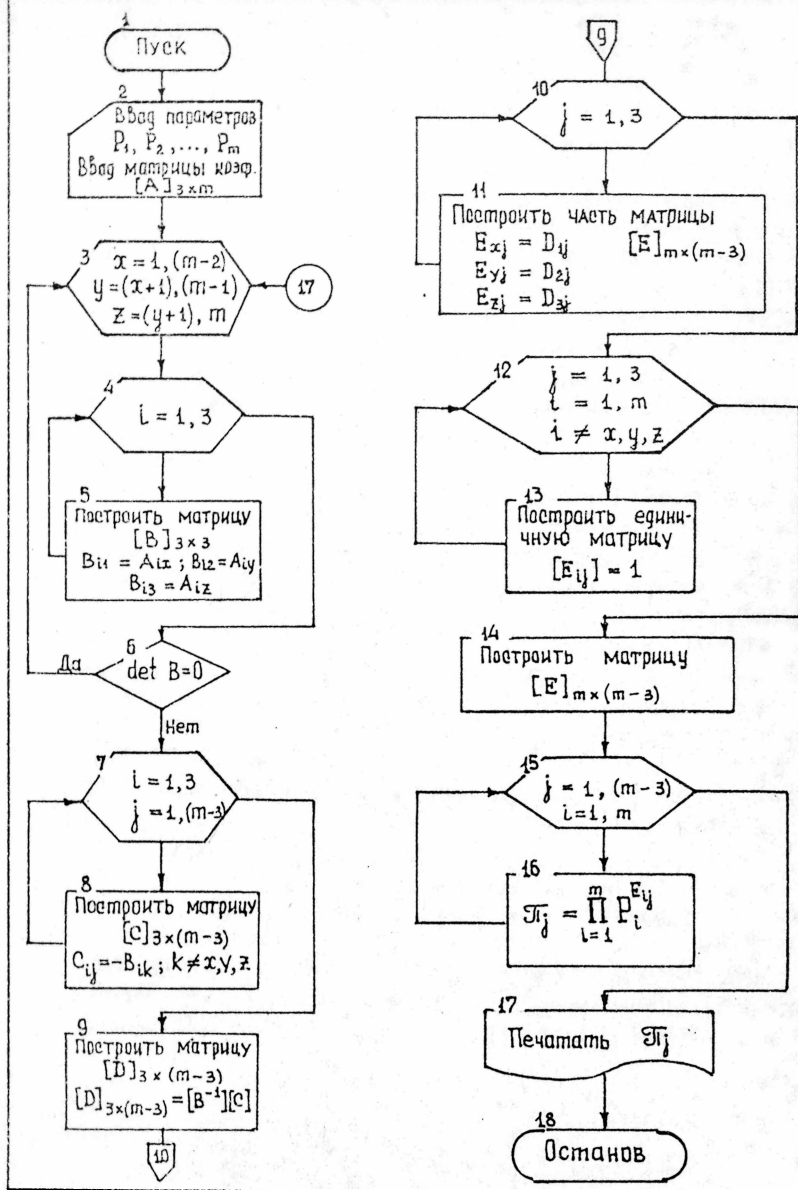


Рис.1. Алгоритм расчета обобщенных безразмерных переменных системы $[M, L, T]$.



изведен расчет динамических характеристик СП фрезерного и токарного типов, при различных установках в центрах, патроне, оправке, с использованием лонетов и др. Результаты, представленные в виде номограммы, охватывают весь диапазон характерных соотношений масс и жесткостей СП и станков средней серии.

Глава 7. Анализ влияния колебаний технологической системы на условия закрепления заготовок в СП. В существующих методах расчета сил закрепления заготовок обычно не учитывают вибрации в системе. Особо следует отметить отсутствие исследований по влиянию вибраций на затянутые стыки с большими удельными давлениями, характерными для стыков СП. Отсутствие знания действительных сил трения компенсируется коэффициентами запаса, доходящими до 10, что вызывает дополнительные деформации заготовки и приспособления, увеличивает расход энергии и утяжеляет конструкцию, снижает точность обработки.

В работе проведены исследования влияния вибраций на изменение сил трения в затянутых неподвижных стыках при различных соотношениях частот и амплитуд направленных колебаний. Исследовались стыки между заготовкой и опорой, заготовкой и зажимными элементами, то есть стыки, сила трения в которых определяет положение заготовки при обработке. В экспериментах зафиксировано уменьшение сил трения до 50% при определенных сочетаниях параметров вибраций и характеристик стыков.

На основании теории предварительного смещения и физической сущности явлений, происходящих в стыках при колебаниях, получены зависимости для расчетного определения падения сил трения при одновременном воздействии на стык нормальных и тангенциальных колебаний:

$$\frac{F_{\text{дин}}}{F_{\text{ст}}} = \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{\pi} (\bar{R} - \bar{Y} \cos \varphi) d\varphi - \bar{R}\bar{Y} \int_0^{\pi} \sin 2\varphi d\varphi + \bar{R}\bar{Y}^2 \int_0^{\pi} \cos^2 \varphi \cdot \sin \varphi d\varphi \right],$$

где $F_{\text{дин}}/F_{\text{ст}}$ — отношение силы трения при вибрациях к силе трения покоя; $\bar{R} = R_1/R$ — относительный радиус зоны проскальзывания в стыке; $\bar{Y} = Y/R$ — относительная амплитуда колебаний;

φ — фазовый угол, зависящий от круговой частоты колебаний.

Для инженерных расчетов результаты представлены в виде номограммы (рис.2).

Проверка на вибростенде падения сил трения при нормальных колебаниях относительно расчетных показала, что ошибка лежит в пределах 15-22%.

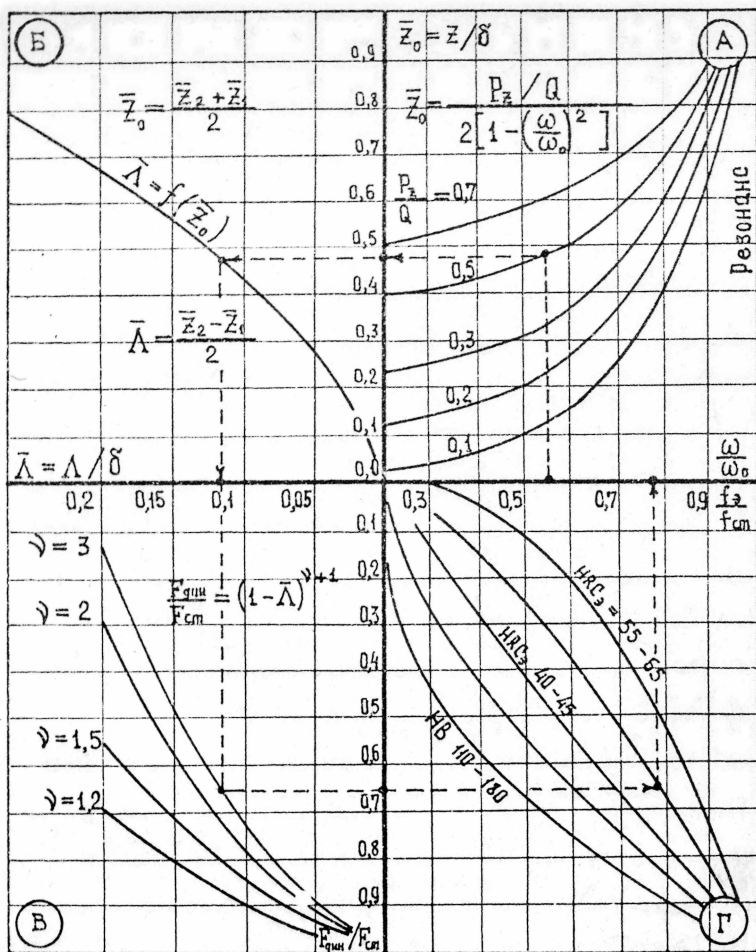


Рис. 2. Номограмма определения эффективного коэффициента трения в стыках при колебаниях.

А - амплитуды колебаний, Б - "всплывтия" при нормальных колебаниях, В - падения сил трения при тангенциальных колебаниях, Г - эффективные коэффициенты трения

Обработка результатов экспериментов позволила определить средние значения эффективных коэффициентов трения для стандартных опорных и зажимных элементов в зависимости от частотных параметров и качества стыкуемых поверхностей. Полученные численные значения для типовых стыков, сведенные в таблицы, позволяют конструктору использовать эти данные при расчетах сил закрепления.

Глава 8. Анализ износостойкости СП и влияние износа на точность обработки. Из комплекса вопросов об эксплуатации приспособлений вопрос об их изнашивании принадлежит к числу наименее разработанных. Большинство руководящих документов, касающихся расчетов точности приспособлений, рассматривают ее статически, не учитывая изменения размерных цепей вследствие изнашивания. Назначение допусков на изготовление и изнашивание деталей приспособлений позволяет правильно задавать исполнительные размеры на детали приспособлений; обоснованно определять допуски на износ элементов приспособлений, исходя из условий выполнения требуемой точности обработки; определять время, когда точность обработки деталей не может обеспечиваться приспособлением.

Трудность расчета на изнашивание заключается в том, что износ зависит от времени эксплуатации, нагрузок, скорости скольжения, шероховатости поверхностей, смазочного материала, квалификации рабочего и др. Износ развивается как случайный процесс, поэтому связь между износом и длительностью работы является корреляционной

$$u = h \left(10^{N/A} - 1 \right),$$

где u - интенсивность износа в количестве установок на 1 км износа; h - коэффициент смещения, определяемый характеристикой износа; A - долговечность элементов приспособлений, полученная как результат обработки статистических данных при экспериментальном изнашивании характерных элементов приспособлений на специальной машине износа.

Предлагаемое уравнение пригодно не только для определения времени и величины износа, но и для определения текущего отклонения (δ) размера опор, изменяющегося в процессе изнашивания. Таким образом, получена возможность расчета точности установки деталей для обработки с учетом износа установочных элементов в любой момент времени эксплуатации приспособления

$$\delta = 10^{N/A} (h + \delta_0) - h.$$

Для оценки влияния отдельных факторов на износ приспособлений применена теория подобия и анализа размерностей.

Задача сводится к отысканию функциональной зависимости износостойкости S (число установок на 1 мкм износа по нормали к опорной поверхности) от остальных переменных процесса.

Применяя Π -теорему метода анализа размерностей, составлены Π -функции указанных переменных, после математической обработки которых получены критерии подобия Π_1 и Π_2 , где Π_1 характеризует трущуюся пару с точки зрения износостойкости материала опоры и "абразивности" устанавливаемой заготовки, а Π_2 характеризует условия нагружения.

Значения критерия Π_2 применяются в достаточно широких пределах, соответствующих наиболее часто встречающимся условиям эксплуатации приспособлений и определяются для каждого типо-размера опор при определенном значении Π_1 (рис.3).

Графики позволяют в процессе конструирования приспособлений по заданным условиям работы подобрать материал, твердость и размеры опорных элементов, удовлетворяющих по износостойкости заданную точность установки.

Эти материалы дают возможность прогнозировать износ приспособлений, управлять точностью установки деталей при обработке, создавать на заводах обоснованную систему планово-предупредительного ремонта приспособлений.

Глава 9. Оптимизация параметров приспособлений по точностным критериям. В работе предложен ряд методов оптимизации в зависимости от критерия, положенного в основу оценки точности проектируемого СП.

Оптимизация параметров СП по критерию минимума математического ожидания погрешности СП предлагается как метод, при котором систематическая часть общей погрешности может быть либо полностью скомпенсирована, либо сведена к минимуму.

Условие полной компенсации найдено из уравнения погрешностей, если перейти от текущих значений случайных величин к их математическим ожиданиям и приравнять нулю математическое ожидание общей погрешности СП:

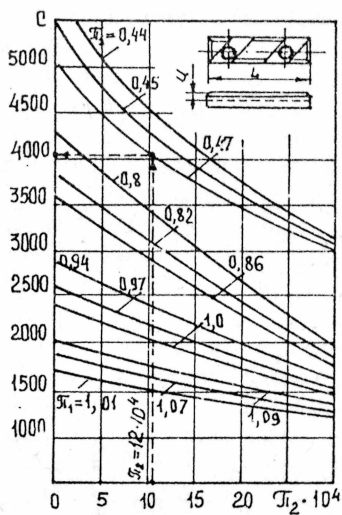
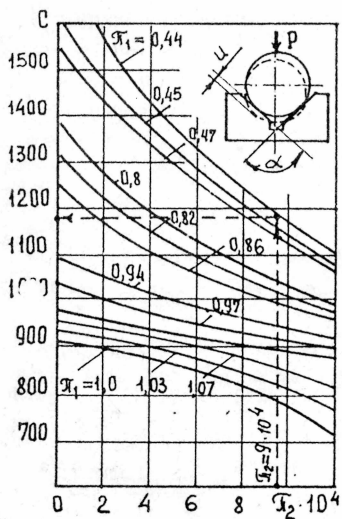
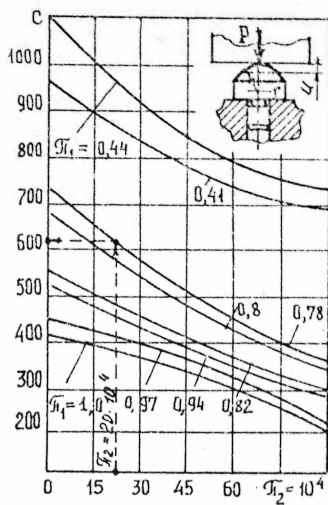
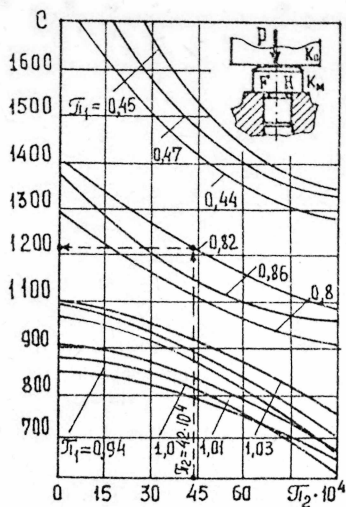


Рис.3. Критерии износостойкости опорных элементов

$$M[y_{np}] = M\left\{f(x, q_{i_0}, \dots, q_{i_{n_0}})\right\} - f_0(x) + \sum_{i=1}^n \left[M\left(\frac{\partial y}{\partial q_i}\right)_0 M(\Delta q_i) + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n \left\{ M\left(\frac{\partial y}{\partial q_i}\right)_0 \sum_{i=1}^n M\left[\left(\frac{\partial q_i}{\partial z_j}\right)_0 M(\Delta z_j) \right] \right\} \right] = 0.$$

Реализуется подбором $q_{i_0}, \dots, q_{i_{n_0}}$ и коэффициентов влияния $\psi_i = \frac{\partial y}{\partial q_i}$ и $\psi_2 = \partial q_{i_1} / \partial z_j$.

Минимизация систематических погрешностей по интегральным критериям применена нами для приспособлений, когда условие полной компенсации не реализуется. Это выполняется путем выбора оптимальных параметров СП и коэффициентов их влияния. Для этого выбирается некоторый интегральный критерий, позволяющий оценить систематическую погрешность во всем диапазоне допуска. Таким критерием служит интеграл квадрата погрешности при изменении допустимой погрешности установки в пределах допуска. Рассмотрен пример оптимизации точности фиксации поворотного приспособления.

Для оптимизации точности СП по случайным погрешностям применен критерий минимума дисперсии этой погрешности. Необходимо так распределить чувствительности составляющих элементов, чтобы дисперсия случайной погрешности на выходе была минимальной. Задача минимизации случайной погрешности приспособления сводится к определению относительного минимума дисперсии с учетом добавочного условия и решается методом Лагранжа. Разработаны значения критерия минимума дисперсии для различных структурных схем приспособлений.

На примере минимизации времени переходного процесса для токарного патрона показаны расчетные методы снижения динамических погрешностей с помощью предложенного метода оптимизации по критерию динамической точности.

При проектировании СП приходится наряду с минимизацией статических и динамических погрешностей решать задачи по минимизации стоимости, габаритно-весовых и других характеристик.

В работе рассмотрены несколько возможных подходов к оптимизации параметров по комплексному критерию, учитывающему точность, чувствительность, жесткость, массу и стоимость СП.

Для примера решена задача определения минимальной стоимости фрезерного приспособления при заданной точности, жесткости и массе. Оптимизация, выполненная по предложенной методике, позволила сократить стоимость СП на 25% при сохранении указан-

ных параметров.

Таким образом, впервые для анализа точности конструкций приспособлений предлагается комплекс методов для решения оптимизационных задач по точностным критериям, с помощью которых появляется реальная возможность формализации расчетов на ЭВМ и автоматизированного поиска наилучших решений.

Глава 10. Производительность обработки и экономическая эффективность применения приспособлений с расчетными параметрами. Из теории производительности следует, что удельный вес затрат прошлого труда (овеществленный труд на создание оборудования и оснастки) непрерывно повышается, в то время как удельный вес затрат живого труда снижается при общем объеме уменьшения трудовых затрат на единицу продукции. Следовательно, совершенствование методов конструирования оснастки и в том числе приспособлений с целью повышения производительности обработки – закономерный и объективно необходимый процесс.

Изменение конструкции приспособления по его динамическим характеристикам воздействует на машинное время обработки (t_m), что связано с расширением возможностей оборудования и повышением режимных параметров, при этом будет повышаться технологическая производительность, $Q_T = 1/t_m$.

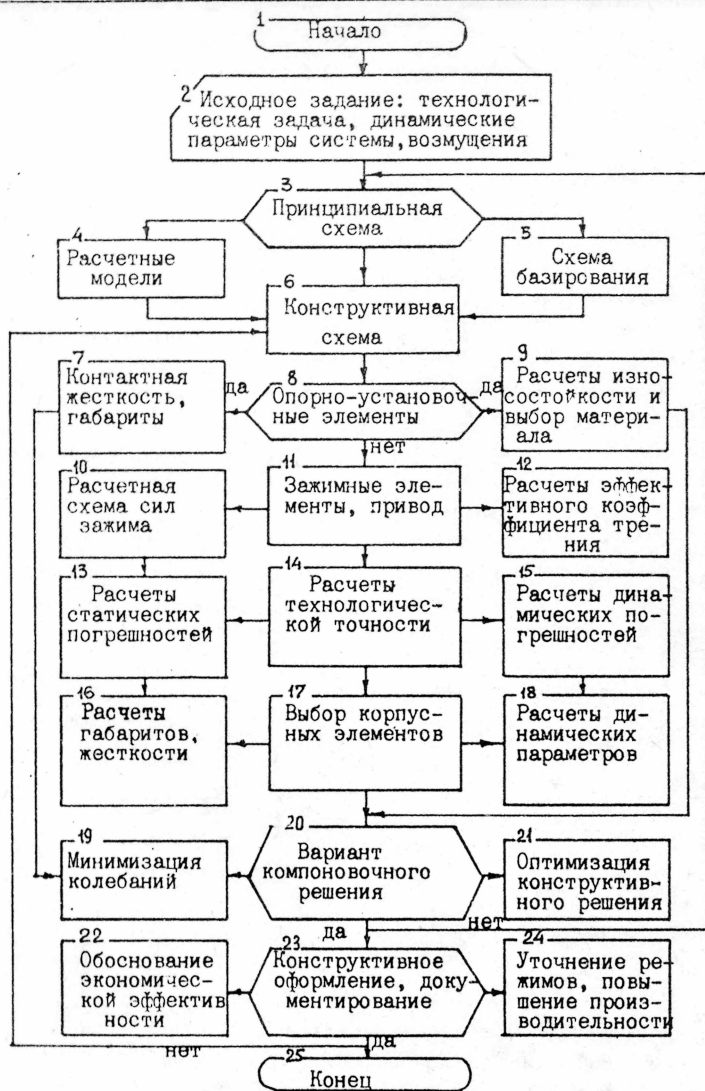
Выполненные практические исследования по выявлению влияния динамических характеристик на предельные режимы обработки позволили построить обобщенную картину зависимости производительности обработки от параметров приспособления и перейти на обработку с глубиной резания на 30–40% выше.

Исследования повышения вибростойкости приспособлений и связанное с этим повышение режимов обработки позволяют ввести специальный коэффициент γ в расчет оптимальной величины коэффициента интенсивности I_{opt} .

Величина $\gamma = t_p / t_{пр}$ связывает затраты основного времени обработки (t_p) по первому варианту и затраты рабочего времени с использованием улучшенного в динамическом отношении приспособления по второму варианту. Введение коэффициента γ позволяет выделить роль приспособления в общем балансе повышения производительности за счет интенсификации режимных параметров.

Вся совокупность выполненных исследований позволяет построить единый укрупненный алгоритм проектирования приспособлений (табл.2), каждый этап которого несет уточнения, разработанные

Таблица 2. Общий алгоритм проектирования СП



ные в диссертации. Уточнения на всех этапах поддаются расчетам либо с помощью ЭВМ (имеются алгоритмы и программы), либо по разработанным номограммам.

Внедрение приспособлений рассмотренных систем позволяет создать на предприятии парк стандартной оснастки, в минимальной степени обновляемый при смене объектов производства, что в значительной степени повышает технологическую готовность предприятия к выпуску новых изделий за счет совершенствования средств технологического оснащения в условиях гибкого автоматизированного производства.

В работе рассмотрены исходные характеристики ГПС и возможных систем приспособлений, определяющих уровень разнообразия обрабатываемой продукции, которую можно принять как энтропию спектра возможных компоновок.

В главе приведен расчет экономической эффективности при внедрении уточненной методики конструирования приспособлений. Эффективность достигается при внедрении данных методик за счет повышения точности и производительности обработки, значительного сокращения времени доработки приспособлений, уменьшения металлоемкости конструкции и повышения производительности труда конструктора применением ЭВМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной результат диссертационной работы - новые решения и научные обобщения проблемы, имеющей важное народнохозяйственное значение, связанное с созданием основ оптимального проектирования станочных приспособлений, обеспечивающих точность и качество обработки, повышение производительности труда и эффективности использования оборудования.

Диссертация способствует успешному решению задач, поставленных перед машиностроением партией и правительством по интенсификации производства, совершенствованию оснащения технологических процессов, ускорению темпов подготовки производства, повышению качества выпускаемой продукции, развитию автоматизации инженерного труда и производственных процессов.

Новые научные результаты, полученные в диссертации, сводятся в основном к следующему:

I. На основе широких теоретических и экспериментальных исследований установлена роль станочных приспособлений в обще-

динамике технологической системы, их способность существенно влиять на жесткость, устойчивость, рассеивание энергии, а также влияние параметров СП на предельные режимы, качество обработки, точность и производительность.

2. Изучен состав производственных погрешностей, связанных с использованием приспособлений, разработана их классификация, включая группу статических и группу динамических погрешностей. Таким образом, впервые поставлена задача выделения погрешностей, обусловленных динамикой приспособлений.

3. Разработан общий метод определения суммарной статической погрешности приспособления на основе обобщенного уравнения точности, его строгой математической обработки и вероятностной оценки каждой составляющей, что впервые позволило выйти на формализованные расчеты точности приспособлений, имеющие существенное значение при создании систем автоматизированного проектирования.

4. Исследованы физические явления возникновения динамических погрешностей и разработана система их расчета при детерминированных воздействиях, при возмущениях, ограниченных по модулю, при случайных воздействиях, а также при изменении параметров приспособлений.

5. Разработаны и решены с применением ЭВМ динамические и математические модели процесса установки и обработки деталей в СП, подверженных различным возмущениям и описанные системой дифференциальных уравнений с учетом переменных масс, жесткостей и сопротивлений.

6. Изучен механизм взаимодействия СП с динамической системой станка, разработана теория чувствительности технологической системы к характеристикам приспособлений и к вариациям их динамических параметров. Разработаны алгоритмы и программы для ЭВМ, позволяющие оценивать влияние каждого колебательного контура системы по коэффициентам чувствительности и динамической податливости на характеристики всей системы.

7. На основе экспериментальных исследований и теоретических обобщений предложена единая классификация стыков, характерных для конструкций приспособлений. Разделение стыков на открытые, полузакрытые и закрытые позволило сформулировать математические модели контактной жесткости, отражающие физическую сущность деформационных явлений в СП и систематизировать методы расчетов.

8. Для инженерного расчета основных характеристик приспособления разработана методика с использованием анализа размерностей, которая позволила описать процессы в обобщенных переменных, построить соответствующие номограммы и охватить весь диапазон характерных соотношений параметров СП и станков средней серии. Разработан алгоритм нахождения обобщенных переменных с помощью ЭВМ, позволяющий решать разнообразные задачи проектирования.

9. Изучен механизм падения сил зажима в СП при наложении вибраций на систему. На основании теории предварительного смещения и физической сущности явлений, происходящих в стыках при колебаниях, получены зависимости для расчетного определения падения сил трения при одновременном воздействии на стык нормальных и тангенциальных колебаний. Разработана новая инженерная методика расчетов сил закрепления в СП, а также предложена система таблиц для выбора эффективного коэффициента трения.

10. Вскрыты закономерности и явления при изнашивании основных элементов приспособлений и разработаны методы расчетов и прогнозирования точности обработки в условиях интенсивного износа. На основе теории подобия и анализа размерностей получены обобщенные критерии изнашивания приспособлений, которые позволяют по заданным условиям работы подобрать материал, твердость, габариты и др. параметры опорно-установочных элементов СП, удовлетворяющих по износостойкости заданную точность установки.

11. Разработана теория оптимизации параметров приспособлений по точностным критериям: по минимуму математического ожидания погрешности СП, по минимуму дисперсии статической погрешности, по критериям динамической точности; по комплексным критериям, учитывающим показатели надежности, габаритно-весовые, стоимостные и т.д. Оптимизация ряда конструкций приспособлений по предлагаемым методам позволила сократить стоимость СП на 25-30% при сохранении точностных параметров.

12. Созданные в результате выполнения работы специальные и универсальные приспособления с оптимальными статическими и динамическими параметрами испытаны и внедрены в серийное производство для различного типа станков с ЧПУ и обрабатывающих центров.

13. Результаты исследований сделали возможным разработать современную методику конструирования приспособлений, которая устанавливает критерии обоснованного назначения статических и динамических параметров приспособлений и позволяет повысить: точность обработки на 1-2 качества; производительность труда на 20-25%; точность расчетов погрешности обработки с учетом динамики процесса на 25-30%; виброустойчивость системы в среднем на 30% путем обоснованного выбора массы и жесткости корпусных элементов приспособлений на этапе принятия компоновочных решений; надежность закрепления заготовки в два и более раза, снизить металлоемкость и энергозатраты уточнением методики расчета сил закрепления; эффективность проектирования приспособлений путем сокращения или полного исключения этапа доработки приспособлений.

14. Разработанные по результатам исследования руководящие технические материалы (РТМ) для инженерных расчетов при проектировании приспособлений с использованием ЭВМ, приняты к внедрению в ряде отраслей машиностроения с подтвержденным экономическим эффектом на сумму более 1,5 млн. рублей.

15. Работа является научным обобщением и завершением исследований, проводимых автором на протяжении 1965-1985 г.г., выполняемых в содружестве с МВТУ им. Н.Э.Баумана (кафедра АМ-3) ИТК АН БССР, ИСМ АН УССР и по планам АН СССР и АН Кирг.ССР.

Основные положения диссертации опубликованы в 130 работах, основные из которых следующие:

Книги и брошюры

1. Микитянский В.В. Точность приспособлений в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1984. - 128 с.

2. Микитянский В.В., Сарбанов С.Т. Пути автоматизации проектирования технологических процессов и оснастки в машиностроении. - Фрунзе: Кыргызстан, 1983. - 208 с.

3. Ильицкий В.Б., Микитянский В.В. Обеспечение эксплуатационных свойств станочных приспособлений. - Фрунзе: ИНТИ при Госплане Кирг.ССР, Депон. 1982. - 320 с.

4. Журавлев В.М., Микитянский В.В. Подготовка инженеров современного машиностроительного производства. - Фрунзе: ФПИ, 1983. - 120 с.

5. Микитянский В.В. Повышение класса точности технологи-

ческой оснастки и станочных приспособлений в металлообработке Киргизии. - Фрунзе: КиргИНТИ, 1979. - 80 с.

6. Микитянский В.В. Расчеты точности станочных приспособлений. - Фрунзе: ФПИ, 1982. - 84 с.

7. Микитянский В.В. Погрешность положения, связанная с приспособлением. М.: Машиностроение, Университет технического прогресса, 1985. - 60 с.

Статьи

8. Микитянский В.В. О влиянии износа базовых элементов приспособлений на точность установки. - Изв. ВУЗов. Машиностроение, № 10, 1963. - с. 174-176.

9. Микитянский В.В. О допуске на износ станочных приспособлений. - Изв. ВУЗов. Машиностроение, № 12, 1968. - с. 156-160.

10. Микитянский В.В., Сердюк Л.М. Методика расчета допустимой погрешности установки с учетом износа приспособлений. - Изв. ВУЗов. Машиностроение, № 3, 1970, с. 134-139.

11. Панкратов М.П., Микитянский В.В., Сердюк Л.М. Применение теории подобия к анализу погрешностей обработки. - Вестник машиностроения, № 5, 1971, с. 59-62.

12. Микитянский В.В. Влияние износа установочных элементов приспособлений на контактную жесткость. - Брянск, сб. "Жесткость в машиностроении", 1970, с. 131-149.

13. Микитянский В.В., Пучинян Г.С. О роли контактной жесткости в зажимных устройствах станочных приспособлений. - Брянск, Приокское книжное издательство, 1973, с. 71-79.

14. Микитянский В.В., Микитянская Л.М. Оценка погрешности формы обрабатываемых деталей с помощью теории подобия. - Изв. ВУЗов. Машиностроение, № 1, 1977, с. 177-182.

15. Микитянский В.В. Роль контактной жесткости в зажимных устройствах. - Изв. ВУЗов. Машиностроение, № 9, 1978, с. 160-163.

16. Микитянский В.В., Микитянская Л.М. Структурный анализ точности станочных приспособлений. Изв. ВУЗов. Машиностроение, № 8, 1981, с. 137-140.

17. Микитянский В.В. Теоретические предпосылки оптимизации приспособлений по точностным параметрам. В кн.: Теория автоматизации проектирования. - Минск: ИТК АН БССР, 1982, с. 36-45.

18. Микитянский В.В. Технологические основы автоматизированного проектирования приспособлений. Сб. Проблемные вопросы

автоматизации проектирования. Москва-Рига, 1979, с. 54-58.

19. Микитянский В.В. Влияние динамических явлений на контактное взаимодействие при упругом демпфировании элементов приспособлений. В сб. Контактная жесткость в приборо- и машиностроении. - Рига, 1979, с. 34-38.

20. Микитянский В.В., Тутлис В.П., Зильберман А.Ш. Принципы обеспечения точности станочных приспособлений. Сб. Научные основы автоматизации производственных процессов и управления качеством в машиностроении. - М.: МВТУ им. Баумана, 1979, с.18-23.

21. Микитянский В.В., Микитянская Л.М. Методика применения анализа размерностей при исследовании динамики приспособлений с помощью ЭВМ. В кн.: Автоматизация проектирования в машиностроении. - Минск: ИТК АН БССР, вып.3, 1983, с.35-48.

22. Микитянский В.В. Влияние колебаний на условия трения в зажимных устройствах приспособлений. Материалы Всесоюз. научно-техн.конф. "Проектирование и эксплуатация узлов трения в машиностроении", Рыбинск, 1983, ч. I, с. 67-69.

23. Микитянский В.В., Тутлис В.П., Зильберман А.Ш. Оптимизация динамических параметров оснастки для станков с ЧПУ. В кн.: Технология и автоматизация машиностроения. - Киев, Техника, вып. 31, 1983, с. 68-73.

24. А.с. № 151962 (СССР). Распределительный конвейер. Микитянский В.В., Ветохин Б.К. Оpubл. в Б.И., 1963, № 6.

25. А.С. № 150814 (СССР). Устройство для фрезерования. Микитянский В.В., Стрельцов А.П. - Оpubл. в Б.И., 1962, № 3.

26. А.с. № 152454 (СССР). Устройство для автоматического адресования приспособлений-спутников. /Микитянский В.В., Ветохин Б.К., Распопов Б.М. - Оpubл. в Б.И., 1964, № 2.

27. А.с. № 918026(СССР). Делительное устройство. /Микитянский В.В., Кравцов В.И., Климов И.М., Давлеткильдеев Н.Х. - Оpubл. в Б.И., 1982, № 13.

28. Микитянский В.В. Влияние динамических характеристик станочных приспособлений на качество и производительность обработки. Сб. Проблемные вопросы автоматизации производства. - Минск, 1984, с. 95-100.

