

М 308639

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

КИСЕЛЕВ Владимир Леонидович

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОСТРОЕНИЕ
ОПТИМАЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В ПАТРОНЕ
НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

(05.02.08 - Технология машиностроения)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание учен. ь степени
кандидата технических наук

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

С С С Р

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

КИСЕЛЕВ Владимир Леонидович

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОСТРОЕНИЕ
ОПТИМАЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В ПАТРОНЕ
НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

(05.02.08 - Технология машиностроения)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва

1977 г.

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

Научные руководители: кандидат технических наук, доцент
КАПУСТИН Н.М.

кандидат технических наук, доцент
МЕЩЕРЯКОВ Р.К.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
НИКИФОРОВ А.Д.

кандидат технических наук, доцент
ПОКРОВСКИЙ В.П.

Ведущее предприятие: московский станкостроительный завод
"Красный Пролетарий" им. Ефремова.

Защита диссертации состоится "14" октября 1977 г.
на заседании специализированного Совета по технологии машино-
строения шифр К-053.15.15 МВТУ имени Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

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

Ваши отзывы и предложения на автореферат в двух экземпля-
рах, заверенных печатью, просим направить по указанному адресу.

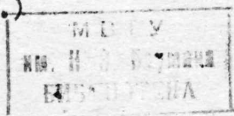
Автореферат разослан "16" сентября 1977 г.

Ученый секретарь Совета
к.т.н., доцент

Мещеряков

Мещеряков МЕЩЕРЯКОВ Р.К.

Тип. МВТУ. Объем I п.л. Тир. 100 экз. Зак. № 1377.180269
(дата разрешения к печати 12.IX-1977 г.)



Актуальность проблемы. В условиях современного производства одно из первых мест занимает проблема повышения качества и экономической эффективности выпускаемой продукции. Актуальной считается и проблема систематического увеличения объема производства. Решение этих задач обеспечивается проведением комплекса мер по интенсификации производства, одним из направлений которого является широкое внедрение металлообрабатывающего оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). К основным факторам, обуславливающим использование такого типа оборудования, относятся: 1) усложнение конструкции и повышение требований к качеству поверхностей деталей; 2) необходимость сокращения трудовых затрат; 3) необходимость применения легко переналаживаемого оборудования, так как и в перспективе ожидается сохранение высокого удельного веса ($\sim 75\%$) серийного производства. Применение станков с ЧПУ приводит к необходимости более подробной разработки технологических операций, следствием чего является увеличение трудоемкости этапа технологической подготовки производства, выполняемой традиционными методами. Проектирование технологии традиционными методами отличается большой трудоемкостью и не всегда обеспечивает оптимальное решение. Применение электронных вычислительных машин (ЭВМ) позволяет решить эту задачу быстро и качественно, обеспечивает проведение необходимого объема технико-экономических исследований и расчетов. В связи с изложенным актуальной задачей для машиностроения является разработка научно-обоснованных методик автоматизированного проектирования технологических процессов и операций обработки деталей на станках с ЧПУ.

Цель исследования. Целью настоящей работы является исследование факторов, влияющих на точность, производительность и экономическую эффективность обработки деталей в патроне на токарных станках с ЧПУ и разработка методики проектирования оптимальной токарной операции ЧПУ.

Методы исследований. Разработка методики автоматизированного проектирования проводилась на базе теоретических основ технологии машиностроения и теории резания металлов. В основе теоретических исследований лежит расчетно-статистический метод, сочетающий положительные стороны расчетно-аналитического и вероятностно-статистического методов. Этот метод позволяет определить элементарные и суммарные погрешности обработки статисти-

чески или расчетным путем. При разработке математических моделей использовались методы исследования операций, математической логики и элементы теории упругости. При проведении экспериментальных исследований факторов, влияющих на точность обработки, применялись статистические методы планирования и обработки результатов экспериментов на ЭВМ.

Научная новизна. В работе выявлены и исследованы закономерности протекания технологического процесса токарной обработки, определены параметры, воздействие на которые позволяет повысить производительность и снизить денежные затраты на проектирование операции и изготовление деталей на токарных станках с ЧПУ. Полученные зависимости позволяют определить величины элементарных и суммарных погрешностей обработки поверхностей точением, сверлением и рассверливанием. Разработана методика проектирования оптимальной токарной операции ЧПУ, включающая выбор рациональной последовательности, количества и режимов рабочих ходов инструмента. Спроектированная по этой методике токарная операция обеспечивает заданное качество деталей, снижение трудоёмкости и стоимости проектирования и обработки. На основе предложенной методики разработаны математические модели токарной операции, алгоритмы и программа проектирования на ЭВМ оптимальной операции.

Практическая ценность. Принятие оптимальных решений при проектировании операций приводит к снижению технологической себестоимости и повышению производительности обработки, создает предпосылки для повышения стабильности хода технологических процессов путем установления времени проведения подналадок или замены режущего инструмента. Разработанная программа, реализованная на алгоритмическом языке "Фортран-IV" для ЭВМ "Минск-32", построена по блочно-модульному принципу, легко адаптируется к реальным условиям обработки поверхностей. Поэтому отдельные блоки могут быть использованы при разработке программ проектирования других операций.

Апробация работы. Основные разделы работы доложены на научных семинарах кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1974-1977 г.г., на научно-технической конференции "Автоматизация проектирования технологических процессов механической обработки и сборки", Москва, 1972 г., на Всесоюзной научно-технической конференции "Повышение эффектив-

ности программного управления", Ташкент, 1974 г., на IV Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении", Москва, 1975 г., на III научно-технической конференции молодых ученых и специалистов НИИ Автопрома и ЗИЛа, Москва, 1975 г.

Объем работы. Диссертация, изложенная на 228 страницах машинописного текста, включает введение, пять глав, выводы по главам и общие выводы. Содержит 16 таблиц, 72 рисунка и список литературы из 97 наименований.

Во введении обосновывается актуальность и направление исследований, базируясь на результаты которых можно разработать методику выбора оптимального варианта изготовления деталей на токарных станках с ЧПУ с целью повышения качества и эффективности проектирования технологических процессов и операций обработки деталей.

В первой главе проанализированы основные работы по проектированию оптимальных технологических процессов и подготовке управляющих программ. В настоящее время имеется ряд методик автоматизированного проектирования операций технологических процессов. В этих методиках за основу приняты типовые решения, традиционно базирующиеся главным образом на обобщении производственного опыта, который отличается большим количеством логических связей, не всегда поддающихся формализации при разработке алгоритмов. Например, определение припусков и режимов резания ведется по нормативно-справочным материалам, часто без учета требований по качеству, точности обработки и особенностей оборудования. Установлено, что дальнейшее совершенствование технологического проектирования операций может основываться только на учете закономерностей формирования поверхностей детали, копирования (наследования) погрешностей, комплексной взаимосвязи технических и экономических факторов, характеризующих токарную операцию.

Методика, предложенная в настоящей работе, в полной мере отражает этот подход и является конкретным развитием работ по методологии автоматизированного проектирования, выполняемых в МВТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, МОССТАНКИне, Дальневосточном и Таллинском политехнических институтах и др. Проанализированы работы по определению элементарных и суммарных погрешностей обработки

поверхностей резцами и сверлами. Показано, что в имеющихся методиках в недостаточной степени использованы основные закономерности технологии машиностроения. Установлена необходимость уточнения рекомендаций по выбору рациональной структуры токарной операции; разработки рабочей методики расчета суммарной погрешности размеров, учитывающей конкретные условия обработки; проведения дополнительных исследований по определению количественных зависимостей для расчета составляющих суммарной погрешности обработки поверхностей резцами и сверлами

В соответствии с целью работы определены задачи, возникающие при проектировании оптимальной токарной операции с использованием методов математического моделирования на ЭВМ: 1) установить принципы проектирования токарной операции ЧПУ; 2) разработать модели технологического процесса обработки поверхностей детали точением, растачиванием и сверлением на токарных станках с ЧПУ, которые включают аналитические и экспериментальные зависимости, адекватно описывающие процесс образования погрешностей; 3) на основе сформулированных основных научных положений построения станочной операции разработать методику автоматизированного проектирования токарной операции; 4) разработать математическую модель, алгоритмы и программу проектирования на ЭВМ оптимальной операции; 5) провести анализ результатов проектирования оптимальных станочных операций методом математического моделирования и определить технико-экономическую эффективность выполненных исследований. В качестве объекта исследования выбраны токарные операции обработки деталей типа тел вращения класса 403000 с $L/D \leq 2$ на токарных станках с ЧПУ, имеющих револьверную головку.

Принципы построения оптимальной операции обработки дисков, фланцев и т.п. деталей на токарных станках с ЧПУ (Глава II).

Методика проектирования оптимальной токарной операции базируется на следующих основных принципах: 1) системный подход к автоматизации проектирования операции; 2) комплексное рассмотрение вопросов точности и производительности обработки; 3) сочетание типовых и индивидуальных решений; 4) определение оптимального варианта построения операции на базе частных критериев при решении отдельных задач технологического проектирования и общего критерия оценки альтернативных вариантов операции.

При проектировании токарной операции необходимо определить методы обработки всех поверхностей, выбрать оптимальную после-

довательность и содержание технологических переходов, включая режимы резания. В соответствии с системным подходом разработка токарной операции ЧПУ ведется в несколько этапов (уровней) с возрастанием степени детализации. На первом уровне проектирования устанавливается необходимость наличия черновой и чистой обработки поверхностей. На втором – назначается последовательность обработки различными методами и инструментами. На третьем – выбираются схемы обработки поверхности каждым инструментом. На четвертом уровне окончательно устанавливается структура операции: определяются оптимальная схема, количество рабочих ходов и режимы обработки. Сопоставление результатов по выбранному критерию позволяет выбрать оптимальный вариант построения токарной операции. На всех уровнях проектирования структура операции определяется на базе сочетаний типовых и индивидуальных решений. Например, схемы базирования назначаются технологом из числа типовых. Режущий инструмент выбирается из имеющейся на станке номенклатуры инструментов. Проектирование ведется для конкретного станка. После проведения аналогичных расчетов для других станков возможен выбор оптимального оборудования.

При выборе схемы обработки поверхностей резцами – снятии напуска – в качестве частного критерия используется неполное оперативное время, включающее время выполнения рабочих и вспомогательных ходов суппорта. Особенностью данного исследования является назначение режимов резания на каждый рабочий ход. Проанализированы следующие схемы обработки, характеризующиеся различными направлениями движения вершины резца при выполнении рабочих ходов: 1) параллельно оси шпинделя станка (по циклам уровней, горизонталей, ступеней); 2) перпендикулярно оси шпинделя (по циклам вертикалей). На конкретных примерах обработки различных деталей на станке мод. I6K20ФЗС4 установлено, что: 1) длительность обработки зависит от схемы обработки, допускаемой глубины резания на переходе; 2) наиболее предпочтительной является обработка "по циклам уровней" – обрабатывают все ступени детали так, чтобы последний рабочий ход заканчивал черновой этап обработки на каждой поверхности. Применение других схем приводит к увеличению неполного штучного времени на 5–10%; 3) большое влияние на длительность обработки оказывает допус-

каемая величина глубины резания, если изменение глубины резания сопровождается изменением количества переходов на поверхности. Так, уменьшение допускаемой глубины резания с 5 мм до 3 мм вызывает увеличение неполного оперативного времени на 32-43% в зависимости от схемы обработки и отношения длины ступени детали к величине снимаемого слоя металла; 4) назначение режимов резания на каждый рабочий ход позволяет уменьшить длительность обработки на 20%; 5) трудоёмкость подготовки управляющей программы, характеризующаяся в частности количеством кадров в программе, определяется схемой обработки. Наименьшее количество кадров в программе получается при обработке по "циклам горизонталей" и "циклам уровней".

При назначении числа технологических переходов обработки поверхностей учитывается, что: количество переходов зависит от величины общего припуска на обработку, требований по точности и шероховатости поверхностей заготовки и детали, технологических возможностей станка; расчет режимов резания ведется для каждого перехода с учетом ограничений технологической системы; при расчете суммарной погрешности обработки учитываются все накопленные в технологической системе изменения, которые произошли к данному моменту выполнения перехода. Критерием для определения оптимального варианта является производительность обработки при заданной системе технологических ограничений (по точности, шероховатости поверхностей, виброустойчивости, мощности привода станка и т.п.). Определение оптимального числа переходов проводится методом направленного поиска с обеспечением экстремального значения целевой функции.

В главе проведен анализ ограничений, применяемых в существующих методиках автоматизированного проектирования технологических операций. Установлено, что часть из них является неактивными, т.е. они не влияют на выбираемый режим обработки. В работе приведены системы ограничений и особенности выбора режимов резания при проектировании переходов обработки различными методами (обтачиванием, растачиванием, сверлением и др.). Ограничения действуют последовательно на этапах выбора глубины, подачи и скорости резания, что позволяет не учитывать неприемлемые решения из числа возможных.

Анализ применяемых режимов резания на токарных станках с ЧПУ показал, что наряду с имеющимся возможен и иной порядок

назначения режимов обработки. При этом учитывается, что применяемые неперетачиваемые режущие пластинки из твердых сплавов имеют узкие диапазоны рекомендуемых скоростей резания; из-за дискретности изменения частот вращения шпинделя рекомендуемому диапазону скоростей резания соответствуют одно-два значения частот вращения. Исходя из этого, предложена следующая методика назначения режима обработки: по рекомендуемой скорости резания подбираемая частота вращения шпинделя, устанавливается глубина резания и рассчитывается подача. Такая методика позволяет уменьшить время поиска режимов резания, однако она может применяться лишь для черновых переходов, для которых величина подачи не лимитируется качеством поверхности детали. Чаще всего при проектировании операций для выбранного оборудования в качестве критерия оценки используется технологическая себестоимость или штучная производительность. Анализ этих критериев для условий обработки рассматриваемых деталей на токарных станках с ЧПУ показал, что экстремумы этих целевых функций располагаются вне диапазона рекомендуемых скоростей. Поэтому применение максимально возможных скоростей резания позволяет получить для фиксированных значений глубины резания и подачи максимальную производительность при минимальной себестоимости. В качестве критерия оценки вариантов построения операций выбрана штучная производительность.

Исследование факторов, влияющих на точность и построение операции обработки деталей в патроне на токарных станках с ЧПУ (Глава III). В главе дается анализ погрешностей обработки поверхностей резцами и сверлами. При расчете ожидаемой суммарной погрешности обработки применен расчетно-статистический метод. По переходам обработки резцами. Процесс обработки рассматривается как функция времени изготовления одной детали и партии. При этом учитываются смещения вершины инструмента за счет случайных факторов (погрешностей настройки, позиционирования и т.д.) и процесс в (износа режущего инструмента, тепловых деформаций технологической системы и т.д.). Как показал анализ выполненных по данному вопросу работ, в настоящее время отсутствует методика расчета точности обработки, не приводятся конкретные величины ряда погрешностей. Все это не позволяет практически выполнять расчеты по точности размеров и формы поверхностей деталей.

По этой причине создана рабочая методика расчета суммарной погрешности, использованная в модели проектирования токарной операции. Приведены уточненные конкретные зависимости расчета погрешности Δ_y , возникающей от нестабильности упругих деформаций технологической системы. Получена формула для определения суммарных перемещений вершины инструмента вследствие его нагрева при выполнении смежных переходов обработки:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{T_{i-1}} \left[1 - e^{-\frac{t_{0i-1}}{\tau_e}} \right] + \Delta_{T_{0i}} \cdot e^{-\frac{t_{0i-1}}{\tau_e}},$$

где $\Delta_{T_{i-1}}$ - удлинение резца в состоянии теплового равновесия при обработке с режимами (i-1) -го перехода, мм; t_{0i-1} - основное время выполнения (i-1) -го перехода, мин; τ_e - время наступления теплового равновесия в технологической системе станка, мин; $\Delta_{T_{0i}}$ - удлинение резца при выполнении i-го перехода, мм.

В связи с отсутствием конкретного материала для расчета размерного износа Δ_n и настройки инструмента Δ_n поставлена задача проведения экспериментальных исследований этих погрешностей.

Особенностью станков с ЧПУ являются применяемые способы позиционирования режущего инструмента. При установке инструмента в позицию обработки возникают погрешности позиционирования при отработке управляющей программы $\Delta_{поз}$ и поворота револьверной головки при смене позиции инструментальной головки. Погрешность $\Delta_{поз}$ достигает значений 0,010±0,020 мм. Погрешность поворота определяется углом ошибки поворота револьверной головки $\Delta\varphi_n$, вылетом режущего инструмента и расположением оси поворота головки в пространстве. Выведены формулы расчета погрешности диаметального ΔD_n и линейного ΔL_n размеров револьверной головки с вертикальной и горизонтальной осями вращения. Для последнего случая:

$$\Delta D_n = \frac{2R_{рг} \cdot \sin(0,5\Delta\varphi_n)}{\cos(\varphi + 0,5\Delta\varphi_n)}; \Delta L_n = \frac{2R_{рг} \cdot \sin(0,5\Delta\varphi_n)}{\sin(\varphi + 0,5\Delta\varphi_n)};$$

$$R_{рг} = \sqrt{X^2 + Z^2}; \quad \varphi = \arctg \left[\frac{X}{Z} \right],$$

где X и Z - расстояния от вершины режущего инструмента до центра вращения револьверной головки по оси X и Z станка с ЧПУ, мм. По переходам обработки сверлом. В связи с тем, что растачивание ведется оправкой с малой жесткостью, происходит копирование погрешностей от предшествующих переходов. При этом погрешность размера от нестабильности упругих деформаций технологической

система составляет 30–50% от суммарной погрешности размера отверстия. Задача обеспечения точности и производительности перехода растачивания связана с результатами предшествующего перехода (сверления и рассверливания). Отсутствие конкретных данных по точности обработки отверстий сверлами на токарных станках привело к необходимости исследования этого технологического перехода.

Процесс сверления можно условно разделить на этапы врезания и сверления. На этапе врезания ленточки инструмента не находятся в контакте с поверхностью отверстия. При расчете смещения вершины сверла инструмент рассматривается как консольно закрепленный стержень, к свободному концу которого приложена силовая нагрузка – неуравновешенные радиальные и осевые составляющие усилий резания. Получена следующая зависимость для определения величины смещения оси отверстия:

$$y(L) = \frac{ML^2}{EJ} \left[\frac{1}{2} + \frac{\omega_r EJ}{L} \right] - \frac{RL^3}{EJ} \left[\frac{1}{3} + \frac{\omega_r EJ}{L} + \frac{\omega_n EJ}{L^3} \right] + \theta_n \cdot L + V_n,$$

где M – изгибающий момент от неуравновешенных радиальной и осевой составляющих сил резания, кгм; R_y – неуравновешенная радиальная сила, кгс; ω_r, ω_n – угловая и линейная (по оси X) податливости револьверной головки, мм/кгс; θ_n – угол между осями режущего инструмента и шпинделя, образующийся из-за неточности сборки револьверной головки и установки сверла в инструментальном блоке, радиан/мм; V_n – несовпадение осей инструмента и шпинделя до обработки, мм; J – момент инерции сечения сверла, мм⁴; E – модуль упругости материала сверла, кгс/мм²; L – вылет сверла, мм.

На этапе сверления, кроме силового воздействия, учитывается начальное смещение оси отверстия, образующееся при врезании. Так как с поверхностью отверстия в контакте находится вершина инструмента, то погрешности отверстия в этом месте контактируют и переносятся на образующуюся при сверлении поверхность. Это положение принципиально отличает предлагаемую методику от существовавших ранее. На расчетной схеме этапа сверления инструмент рассматривается как стержень, одним концом закрепленный в револьверной головке, а около другого конца (формообразующей вершины инструмента) имеется дополнительная опора. При расчете учитываются кинематические смещения в опоре и силовая нагрузка.

Погрешность отверстия после сверления на расстоянии Z от входного торца детали равна: $r(Z) - r(l_d) \cdot S_r \cdot \sum U_j \cdot S_j$, где $r(l_d)$ — погрешность отверстия в сечении около входного торца детали; l_d — длина детали; S_r — коэффициент влияния погрешности $r(l_d)$ на функцию $r(Z)$; U_j — элементарные факторы, обуславливающие появление погрешностей сверления; S_j — коэффициент чувствительности (влияния) функции $r(Z)$ к изменению соответствующего элементарного фактора U_j . Значения коэффициентов влияния можно определить аналитически, рассматривая расчетную схему этапа сверления с учетом переноса погрешностей обработанных участков отверстия на обрабатываемые. На основе использования метода спектрального анализа получены зависимости для расчета погрешности диаметра ΔD и величины смещения оси отверстия Δp_{50} в функции длины детали l_d , неуравновешенной радиальной силы R_y , несовпадения осей шпинделя и сверла V_n . При сверлении детали длиной 100 мм сверлом диаметром 25 мм и вылетом 200 мм погрешности ΔD и Δp_{50} определяются так:

$$\Delta D = 2,08 \cdot r(l_d) + 0,56 \cdot V_n - 1,9 \cdot 10^{-2} \cdot R_y ;$$

$$\Delta p_{50} = 2,08 \cdot C_0 + 0,56 \cdot V_n - 1,9 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta R_y ,$$

где $r(l_d)$, C_0 — погрешность размера и смещение оси отверстия на входном торце.

Экспериментальное исследование факторов, определяющих точность обработки на токарных станках с ЧПУ (Глава IV).

В соответствии с главой II здесь приводятся результаты исследования размерного износа, погрешностей настройки при обработке резцами и проверка адекватности полученных аналитически формул для расчета ожидаемых погрешностей отверстия после сверления и рассверливания.

Исследовался размерный износ неперетачиваемых пластин параллелограммной формы типа AP-713-002 из твердого сплава марки TI5K6 с главным углом в плане 93° при точении стали 45 в состоянии поставки. При проведении исследования применялись статистические методы планирования и обработки результатов экспериментов. Установлено, что размерный износ режущих пластин в основном определяется величиной скорости резания. Получена зависимость для расчета относительного удельного размерного износа

$$U_0 = 1,477 \cdot 10^{-4} V^{2,75} S^{0,1} \text{ мкм/км, где } V - \text{ скорость резания, м/мин;}$$

S — подача, мм/об.

На станках с ЧПУ применяется взаимозаменяемый режущий ин-

струмент. При установке инструментов на станок или повороте многогранной режущей пластинки возникают погрешности, величины которых количественно не установлены. В литературе приводятся противоречивые рекомендации по применению различных методов настройки. В работе установлено, что смещения вершины осевого инструмента зависят от последовательности крепления винтов блока, несущего инструмент, на револьверной головке. Исследовано 6 вариантов крепления блока. Лучшими по стабильности и точности положения инструмента являются два варианта, когда блок крепится сначала винтом, ближайшим к оси вращения шпинделя. Применение оптимальных схем затяжки позволяет уменьшить смещение вершины инструмента в 4,5-7 раз (по оси X - с 0,15 до 0,02 мм, по оси Z - с 0,22 до 0,05 мм). Определялась область применения настройки с поворотом многогранной твердосплавной пластинки. Установлено, что происходит значительное смещение вершины режущего инструмента - до 0,5-1 мм. Таким образом, при замене или повороте режущей пластинки обработка возможна только после подладки станка.

В результате экспериментов по исследованию точности сверления отверстий установлено, что: 1) погрешность размера ΔD по длине отверстия уменьшается от 0,4-0,7 мм на входном торце до 0,3-0,4 мм на выходном, а величина радиального биения отверстия $\Delta_{\text{раб}}$ увеличивается соответственно от 0,3-0,4 мм до 0,4-0,75 мм; 2) увеличение подачи приводит к росту величины радиального биения вследствие возрастания неуравновешенных радиальных сил; 3) погрешность размера и величина радиального биения отверстия значительно зависят от несовпадения осей сверла и шпинделя до обработки V_n . Увеличение V_n от 0,2 до 0,8 мм приводит к росту погрешности размера отверстия на входе от 0,4 до 0,75 мм и радиального биения отверстия на выходе от 0,25 до 0,4 мм (при сверлении стали 45 инструментом диаметром 25 мм из быстрорежущего материала марки P18 с охлаждением); 4) выведенные в главе III аналитические зависимости адекватно описывают реальный процесс образования погрешности размера и радиального биения при сверлении отверстия.

Разработка алгоритмов и программ построения оптимальной токарной операции ЧПУ, анализ результатов моделирования и технико-экономическая эффективность расчетов на ЭВМ (Глава V).
При разработке алгоритмов и программы проектирования токарной

операции использован блочно-модульный принцип организации. Разработаны модули по проектированию переходов точения внешних цилиндрических поверхностей, растачивания цилиндрических поверхностей, сверления и рассверливания центрального отверстия, обработки торцовых поверхностей и обработки канавок, галтелей, фасок и т.п.). Последовательность работы отдельных модулей, типовая для данной группы деталей, задается управляющим блоком алгоритма. Каждый модуль проектирования переходов представляет собой совокупность отдельных блоков. По кругу решаемых задач и построению некоторые блоки различных модулей имеют много общего. В главе приводятся описания алгоритмов блоков выбора промежуточных припусков, глубины и режимов резания и расчета суммарной погрешности обработки. Приводятся формы заполнения перфокарт со сведениями о детали, оборудовании и режущем инструменте.

Результаты моделирования станочных операций на ЭВМ проверены в производственных условиях. Расчеты на ЭВМ показали, что на построение токарных операций ЧПУ большое влияние оказывают общий припуск на поверхности; глубина резания, допускаемая технологической системой станка; точность и шероховатость поверхностей, заданные чертежом детали.

Основные выводы

1. Разработанная методика построения оптимальной операции токарной обработки деталей на станках с ЧПУ базируется на принципе системного подхода, комплексной взаимосвязи параметров точности изделия и режимов резания, рационального сочетания типовых и индивидуальных технологических решений.
2. Использование многоуровневого решения при проектировании операций обработки деталей позволило системно подойти к построению операции, конкретизировать содержание основных этапов проектирования и применить блочно-модульный принцип составления алгоритмов и программ моделирования токарных операций с помощью ЭВМ.
3. Последовательность выполнения переходов обработки контура заготовки рекомендуется выбирать по циклам "уровней" и циклам "горизонталей". При этом режимы обработки следует определять на каждом технологическом переходе. Разработанные рекомендации по выбору схем обеспечивают минимизацию оперативного времени об-

работки и снижение трудоемкости подготовки управляющих программ на 10-20%.

4. Основными доминирующими факторами, влияющими на точность обработки деталей в патроне на токарных станках с ЧПУ, являются погрешности настройки и позиционирования режущего инструмента, упругие деформации технологической системы и накапливающийся при обработке партии деталей размерный износ режущего инструмента.

5. Доказана необходимость подналадки станка с ЧПУ при замене режущей грани неперетачиваемой пластинки в случае её размерного износа. Для повышения точности обработки на чистовых переходах можно рекомендовать применение режущих пластинок групп с повышенной точностью изготовления.

6. При исследовании процесса формирования поверхности сверлением на токарных станках установлено, что, кроме силового воздействия, этот процесс характеризуется явлением переноса (наследования) погрешностей обработанных участков на обрабатываемые. На основании теоретических и экспериментальных исследований получены зависимости, позволяющие прогнозировать погрешности обработки с учетом входных параметров.

7. На основе проведенных исследований разработаны математические модели и алгоритмы проектирования и процесса обработки. Их особенностью заключается в комплексном учете действующих факторов при достоверности количественных зависимостей, определяющих функциональную связь параметров точности и режимов резания.

8. Проведенные исследования позволили выявить и унифицировать модели для решения отдельных задач проектирования токарной операции. При выделении модулей следует обращать внимание на их повторяемость в алгоритме, а также на возможность их использования для других операций.

9. Проектируемые с помощью предложенной методики оптимальные токарные операции обработки деталей на станках с ЧПУ обеспечивают заданное качество изделий при максимальной штучной производительности. Проведенная производственная и экспериментальная проверка подтвердила правильность основных положений работы. Предложенную методику построения оптимальных операций следует рекомендовать использовать технологическим службам предприятий.

10. Результаты работы используются на московском заводе автоматических линий им. 50-летия СССР. Ожидаемый экономический эффект при проектировании с помощью ЭВМ токарных операций для 100 типоразмеров деталей составляет 4340 руб. Методика и программа проектирования на ЭВМ токарных операций обработки деталей на станках с ЧПУ экспонировалась на выставке "Система технологической подготовки производства" (ВДНХ, 1975 г.). Методика может быть использована при построении операций обработки деталей на любых токарных станках с ЧПУ.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Киселев В.Л. Построение оптимальных операций обработки деталей типа дисков на токарных станках с ЧПУ. Тезисы докладов научно-технической конференции "Автоматизации проектирования технологических процессов механической обработки и сборки", Москва, 1972 г.

2. Мещеряков Р.К., Киселев В.Л. Проектирование операций для токарных станков с ЧПУ. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Повышение эффективности программного управления в машиностроении". ТашПИ, Ташкент, 1974 г.

3. Казаков В.А., Мишин М.А., Киселев В.Л. Автоматизация проектирования операций на токарных и шлифовальных станках. Тезисы докладов IV Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении", Москва, 1975 г.

4. Капустин Н.М., Мещеряков Р.К., Киселев В.Л., Симанчук Л.И. "Автоматизированное проектирование обработки деталей". Известия Вузов. Машиностроение, № 9, 1975 г.

5. Киселев В.Л. "Размерный износ неперетачиваемых режущих пластинок из твердых сплавов". Известия Вузов. Машиностроение, № 9, 1976 г.

6. Мещеряков Р.К., Симанчук Л.И., Киселев В.Л. "Радиальное биение поверхностей, полученных сверлением и рассверливанием деталей". Известия Вузов. Машиностроение, № 5, 1977 г.