

М 358444

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
Высшее Техническое Училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

РЫЖОВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ПРУТ-
КОВЫХ МНОГОСПИНДЕЛЬНЫХ ТОКАРНЫХ АВТОМАТАХ

Специальность 05.02.07 - Автоматизация в машиностроении

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Москва - 1980

На правах рукописи

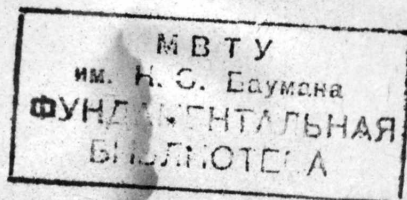
РЫЖОВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ПРУТ-
КОВЫХ МНОГОСПИНДЕЛЬНЫХ ТОКАРНЫХ АВТОМАТАХ

Специальность 05.02.07 - Автоматизация в машиностроении

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Москва - 1980



НТБ МВТУ им. Н.Э. Баумана



1358444

Рыков С.В. Исследование и

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени Высшем Техническом Училище
имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
КАПУСТИН Н.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
КАМЫШНЫЙ Н.И.
кандидат технических наук, ст. научн.
сотр. ШЕМЕТОВ М.Г.

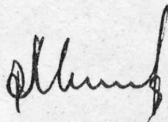
Ведущее предприятие указано в решении специализированного
Совета.

Защита состоится "5" мая 1980 г. на заседании
специализированного Совета К058.15.01 Московского ордена
Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Высшего Техничес-
кого Училища им. Н.Э. Баумана по адресу: Москва 107005,
2-я Бауманская ул., 5.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные
печатью, просим направить по указанному адресу.

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

Ученый секретарь Совета
к.т.н., доцент



Мельников Г.Н.

Подл. к печ. 28.01.80, А-65294. Объем I п.л. тип МВТУ

Зак. 140

тир. 100

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. По технологическим возможностям многошпиндельные токарные автоматы имеют ряд преимуществ по сравнению с другими видами оборудования: высокую производительность и универсальность, небольшой разброс выполняемых размеров в партии обрабатываемых деталей, простоту в обслуживании и другие. Это предопределило их широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Создание новых более жестких и точных конструкций, а также разработка конструкций автоматов с бескулачковой наладкой, позволили не только значительно расширить номенклатуру обрабатываемых деталей и снизить количество доделочных операций после автоматной обработки, но и резко сократить время переналадки станка с одного изделия на другое и, тем самым, способствовать их использованию в условиях частой смены предметов производства.

Современный этап развития машиностроения в условиях научно-технической революции характеризуется значительным увеличением объема проектно-технологических разработок, повышением требований к качеству выпускаемых изделий, что приводит к необходимости использования ЭВМ при решении задач, связанных с проектированием технологических процессов механической обработки. Большое количество технологических факторов и параметров обработки при проектировании операции на многошпиндельных токарных автоматах приводит к многовариантности решений как отдельных подзадач, так и операции в целом. Сложная взаимосвязь между факторами и технологическими параметрами и высокая степень эвристичности принимаемых решений вызывают существенные затруднения при проектировании. Автоматизация проектирования позволит поднять на более высокий качественный уровень разработку технологического процесса на многошпиндельных токарных автоматах и, тем самым, повысить эффективность эксплуатации данного вида оборудования.

Цель работы. Исследование и разработка методики автоматизации проектирования операции обработки деталей на прутковых многошпиндельных токарных автоматах.

Методы исследования. Структурные свойства и отношения проектируемой операции описывались с использованием теории множеств и теории графов. При назначении технологических перехо-

дов на обрабатываемые поверхности, формировании совмещенных переходов был применен аппарат математической логики, методы теории резания. При разработке математической модели распределения инструментов по рабочим позициям и модели операции применялся расчетно-статистический метод исследования точности, аппарат линейной алгебры, теории вероятностей, методы теории производительности машин. Экспериментальный метод предусматривал нахождение численных значений жесткостей шпиндельного блока автомата и отладку программы на ЭВМ. Результаты теоретических исследований были проверены в производственных условиях.

Научная новизна. Разработана методика автоматизированного проектирования оптимальной операции обработки деталей на прутковых многошпиндельных токарных автоматах, основанная на многоуровневой структуре проектируемой операции и учитывающая взаимосвязь отдельных уровней проектирования. Исследовано влияние технологических факторов на результаты решений, принимаемых на каждом уровне проектирования, с целью разработки формализуемых технологических правил. Разработаны математическая модель операции, методика и математическая модель формирования совмещенных переходов с применением фасонных резцов и комбинированных осевых инструментов; методика и математическая модель оптимального распределения инструментов по позициям автомата, учитывающая минимизацию погрешности обработки, зацентрованных размеров, вызванной перемещениями шпиндельного блока.

Практическая ценность. Разработанная методика позволила получить годовой экономический эффект в сумме 32.000 рублей. Данный эффект получен за счет снижения трудоемкости проектирования на стадии технологической подготовки производства и оптимизации проектируемых операций на стадии обработки деталей. Материалы настоящего исследования использованы при разработке отраслевого стандарта ОСТ 84-1612-78 "Проектирование технологических процессов изготовления деталей на многошпиндельных автоматах с помощью ЭВМ. Типовые решения".

Апробация работы. По основным разделам работы сделаны доклады: 1/ на Всесоюзной конференции по оптимизации процессов механической обработки на металлорежущих станках-г. Киев, 1975г.; 2/ на научных семинарах кафедры "Технология механооборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана-1976-1979 гг.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в трех научных статьях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 142 страницах машинописного текста, библиографического списка из 97 наименований, приложения, включает 50 рисунков и 17 таблиц.

В ГЛАВЕ I рассмотрены основные предпосылки применения ЭВМ при проектировании технологических процессов обработки деталей. Поиск оптимальных решений при неавтоматизированном проектировании в значительной мере затруднителен вследствие необходимости учета и взаимосвязи большого количества одновременно действующих факторов. Следствием многопараметрической оптимизации является многовариантность возможных решений, анализ и оценка которых представляет большую сложность для неавтоматизированного метода проектирования. Приведенные доводы, а также неуклонно возрастающий объем проектно-технологических разработок порождают объективную необходимость использования современных средств вычислительной техники. Автоматизированному проектированию предшествовал ряд работ, выполненных советскими учеными: Волчкевичем Л.И., Дальской А.П. и другими по исследованию производительности и точности многошпиндельных токарных автоматов. Вопросам автоматизации проектирования операций на одношпиндельных автоматах уделено внимание в работах Горанского Г.К., Митрофанова С.П. и других исследователей, в основу которых были положены типовые и групповые процессы. В работах под руководством Кагустина Н.М., Цветкова В.Д. и других разработаны методы алгоритмизации основных технологических задач, методы оптимизации технологических решений, языки кодирования исходной информации. Оптимизации режимов резания на многошпиндельных автоматах посвящены работы под руководством Гильмана А.М., Игумнова Б.Н., при этом в ЭВМ вводится информация с технологического процесса, предварительно разработанного неавтоматизированным методом. По этой причине, проводя оптимизацию режимов резания, в отдельных случаях не удавалось обеспечить заданной точности обработки и детали обрабатывались по широким допускам, чем обуславливается необходимость ввода доделочной операции после автоматной обработки. Из сказанного следует, что качество спроектированного технологического процесса будет выше, если задачу проектирования оптимальной многоинстру-

ментной операции решать комплексно, не останавливаясь только на оптимизации режимов резания.

В результате проведенного анализа и в соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи:

1. Провести структурный анализ и синтез многоинструментной токарной операции для целей автоматизированного проектирования.
2. Исследовать влияние технологических факторов на синтез оптимальной операции.
3. Разработать методику формирования совмещенных переходов.
4. Провести аналитические и экспериментальные исследования с целью определения зависимости точности обработки диаметральных размеров поверхностей от перемещений шпиндельного блока автомата.
5. Разработать математическую модель многоинструментной токарной операции.
6. Разработать алгоритмы автоматизированного проектирования операции обработки деталей на многошпиндельных токарных автоматах.
7. Определить оптимальные условия эксплуатации многошпиндельных токарных автоматов.

В ГЛАВЕ 2, на основании проведенного структурного анализа и синтеза показано, что проектируемая операция имеет четко выраженную иерархическую структуру: операция – совокупность рабочих позиций; позиция – совокупность инструментальных переходов; инструментальный переход – совокупность технологических переходов; технологический переход – элементарная составная часть /единица/ операции. В процессе проектирования операции необходимо учитывать большое число факторов, оказывающих влияние на ее содержание. Возникает сложность комплексного решения, приводящая к необходимости декомпозиции исходной задачи на взаимосвязанные части – уровни проектирования: проектирование технологических переходов на обрабатываемые поверхности; формирование инструментальных переходов; распределение инструментов по рабочим позициям автомата; формирование операции в целом. Принятие решений следует начинать с низшего уровня иерархии структуры операции – проектирования технологических переходов по каждой поверхности, поскольку исходными данными для проектирования служат геометрические параметры и параметры качества обраба-

тываемых поверхностей.

Общее количество технологических переходов Z_0 , выполняемых с продольного и поперечных суппортов, в общем случае, превышает число мест на станке $N_{ст}$ для размещения комплекта инструментов по рабочим позициям автомата, поэтому необходимо часть технологических переходов $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_f, \dots, \Pi_p$ совместить в сложные инструментальные переходы $ИН_j$ с применением фасонных резцов и комбинированного осевого инструмента:

$$ИН_j = \{ \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_f, \dots, \Pi_p \},$$

где p — количество технологических переходов, выполняемых j -ым инструментальным переходом; f — индекс технологического перехода.

Возможность совмещения нескольких технологических переходов Π_f в одном инструментальном переходе определяется содержанием логической функции $\Phi_{спк}$, представляющей собой сумму выявленных правил совмещения:

$$\Phi_{спк} = \bigwedge_{i=1}^{p'} \alpha_i,$$

где α_i — логические условия формирования совмещенного перехода; p' — количество логических условий.

Инструменты, предназначенные для обработки поверхностей детали, необходимо распределить по позициям станка. Эта задача также имеет многовариантный характер, обусловленный большим количеством инструментов в наладке и возможностью устанавливать каждый из них в различных позициях автомата. Причем, при различных вариантах распределения инструментов, изменяется силовая картина нагружения шпиндельного блока, а, следовательно, изменяются и упругие перемещения рабочих шпинделей, в которых закреплены прутки-заготовки. Учитывая это, необходимо так распределить инструменты по рабочим позициям автомата, чтобы при прочих равных условиях величина погрешности обработки $\Delta d_{\ell j}$ диаметрального размера поверхности ℓ , вызванная смещением оси рабочего шпинделя в j -ой позиции, была минимальной:

$$\Delta d_{\ell j} = f(P_2, P_8, M_p) \rightarrow \min,$$

где P_2, P_8, M_p — соответственно суммарные горизонтальное P_2 , вертикальное P_8 усилия и момент резания M_p на шпиндельном блоке автомата под действием усилий резания P_{yi} и P_{xi} при работе всех инструментов наладки.

Оптимальный вариант содержания проектируемой операции в целом определяется экстремумом целевой функции. В качестве критерия оптимальности операции принята технологическая себестоимость $C_{оп}$, представляющая собой взаимосвязь трех локальных критериев: затрат времени на выполнение рабочих ходов t_0 , смену и подналадку инструмента $\Pi_{ин}$ и затрат на эксплуатацию и амортизацию инструмента W . Следовательно, технологическая себестоимость $C_{оп}$ выступает как объективный критерий оптимальности операции обработки на многшпиндельных токарных автоматах. При этом в технологической себестоимости учитывается лишь ее переменная часть, зависящая только от переменных параметров операции:

$$C_{оп} = t_0 \cdot C_m + \Pi_{ин} \cdot C_m + W,$$

где t_0 — основное время, определяемое продолжительностью резания при выполнении лимитирующего перехода $t_{0\text{лим}}$; C_m — стоимость станкоминуты работы автомата.

Решение каждого уровня определяется путем преобразования исходных данных и проектных решений, полученных на предыдущем уровне. Таким образом, оптимальный результат определяется не только вариантом решения последнего уровня, а зависит от решений, принимаемых на каждом уровне проектирования. Поиск оптимальных решений на каждом уровне проектирования и операции в целом является задачей анализа и синтеза.

В ГЛАВЕ 3 приведена методика формирования совмещенных переходов обработки на токарных многшпиндельных прутковых автоматах. Совмещение переходов осуществляется путем применения: 1/ комбинированного осевого инструмента, 2/ фасонных резцов, 3/ параллельной работы двух и более режущих инструментов, установленных в одном исполнительном органе автомата, 4/ параллельной работы двух и более режущих инструментов, установленных в различных исполнительных органах автомата.

Необходимость формирования совмещенных переходов диктуется целым рядом причин: 1. Превышением предполагаемого количества режущих инструментов Z , необходимых для выполнения запроектированных технологических переходов Z_0 над числом позиций автомата; 2. Стремлением к сокращению затрат времени, связанных с подналадкой и заменой режущих инструментов $\Pi_{ин}$, 3. Необходимостью обеспечения требований, предъявляемых к точности размеров и взаимного положения поверхностей.

Целью формирования совмещенных переходов является устранение количественного избытка технологических переходов путем использования оптимальных способов их совмещения. То обстоятельство, что один технологический переход может быть совмещен с несколькими другими переходами, приводит к многовариантности решений при совмещении переходов. Синтезу совмещенных переходов необходимо придать такое проектно-технологическое содержание, которое бы обеспечивало оптимальное решение из всех возможных. С этой целью при формировании совмещенных переходов вводится ряд ограничений: 1) по суммарному количеству инструментов в наладке; 2) по виду обрабатываемых поверхностей и расположению их друг относительно друга; 3) по виду совмещаемых технологических переходов (черновые, чистовые и т.д.); 4) по разнице в скоростях резания, обусловленной перепадом диаметров совмещаемых переходов; 5) по жесткости элементов технологической системы при совмещении переходов; 6) по точности размера и точности взаимного положения поверхностей и др. В соответствии с этим, для инструментального перехода $ИН_i$ можно записать:

$$ИН_i = \begin{cases} 1, & \text{если рассматриваемое совмещение удовлетворяет} \\ & \text{заданным ограничениям;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$$П_f = \begin{cases} 1, & \text{если } П_f \in ИН_i; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При различных вариантах совмещения меняется количество инструментов в наладке. В соответствии с этим изменяются и затраты времени на замену и подналадку инструментов $П_{ин}$, а также расходы на эксплуатацию и амортизацию режущих инструментов W , поэтому при формировании инструментальных переходов суммарные расходы по инструменту $S_{ин}$ необходимо держать на уровне возможного минимума:

$$S_{ин} = П_{ин} \cdot C_n + W \rightarrow \min,$$

где C_n — стоимость минуты работы наладчика.

Необходимым условием решения задачи формирования совмещенных переходов является выполнение следующих неравенств:

$$\sum_{M_1}^{M_1} C_{П_{гк}} + \sum_{M_2}^{M_2} П_{П_f} \leq N_{П_r},$$

$$\sum_{F_1}^{F_1} C_{П_n} + \sum_{F_2}^{F_2} П_{П_f} \leq N_{П_n},$$

где $C_{П_{гк}}, C_{П_n}$ — переходы, выполняемые соответственно с продольного и поперечных суппортов, сформированные из отдельных технологических переходов в совмещенные; M_1, F_1 — количество совмещенных переходов, выполняемых соответственно с продольного и поперечных суппортов;

M_2, F_2 — количество простых переходов, которые остались после совмещении и выполняемые соответственно с продольного и поперечных суппортов; $N_{пр}, N_n$ — соответственно число мест для крепления инструментов на продольном и поперечных суппортах.

Оптимальное решение $S_{ин} = S_{ин}^{min}$ определяется последовательным перебором возможных решений за несколько итераций. При этом, посредством дисплея, технолог имеет возможность вмешиваться в ход решения задачи.

В ГЛАВЕ 4 представлена методика и математическая модель распределения инструментов по рабочим позициям автомата. Среди факторов, суживающих область оптимальных решений в случае обработки на многошпиндельных автоматах, основным является ограничение по точности диаметральных размеров поверхностей.

Анализ литературных источников и производственные наблюдения показали, что наибольшее влияние оказывают упругие перемещения элементов технологической системы — Δy . Упругие отжатия на многошпиндельных токарных автоматах носят сложный характер вследствие того, что обработка производится одновременно на всех позициях станка. С учетом этого погрешность диаметрального размера обрабатываемой поверхности Δd_j складывается из погрешности, возникающей вследствие упругих перемещений шпинделя с заготовкой и суппорта под действием усилий резания на рассматриваемой позиции Δy_n , и погрешности, возникающей вследствие упругих перемещений шпиндельного блока автомата $\Delta y_{ш}$. В процессе обработки деталей на шпиндельном блоке создается суммарное радиальное усилие P и крутящий момент M_p от сил резания, вызываемые инструментами, расположенными на рабочих позициях автомата. В результате этого шпиндельный блок получает перемещения: поступательное — в направлении осей $y \rightarrow a$ и $z \rightarrow b$, и вращательное φ вокруг своей оси. Рабочие шпиндели автомата расположены по окружности блока на расстоянии r_1 от центра масс, поэтому смещение оси шпинделя $\Delta y_{ш}, \Delta z_{ш}$ по величине и направлению отличается от смещения a и b центра масс шпиндельного блока:

$$\Delta y_{ш} = a + r_1 \varphi \cdot \sin \alpha_j,$$

$$\Delta z_{ш} = b + r_1 \varphi \cdot \cos \alpha_j,$$

где α_j — угловое положение рабочей позиции на шпиндельном блоке автомата.

Величина смещения оси рабочего шпинделя $\Delta c_{шj}$ в j -ой позиции определена по формуле:

$$\Delta c_{шj} = \sqrt{\Delta y_{ш}^2 + \Delta z_{ш}^2}.$$

Окончательное выражение для Δc_{mj} с учетом a, b, ψ имеет вид:

$$\Delta c_{mj} = \sqrt{\left[\frac{P_z + (P_g - g)f}{J_y} \right]^2 + \left[\frac{P_g - g}{J_z} + \eta_j^2 \left(\frac{M_p + P_z \cdot Z}{J_p} \right)^2 \cdot 3,03 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot Z_j \cdot 1,74 \cdot 10^{-2} \left(\frac{M_p + P_z \cdot Z}{J_p} \right) \right.}$$

$$\left. + \left[a_j \cdot \left[\frac{P_z + (P_g - g)f}{J_y} \right] \cdot \sin \alpha_j + b_j \cdot \left(\frac{P_g - g}{J_z} \right) \cdot \cos \alpha_j \right]^2} \right.$$

где P_z, P_g — соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие суммарного радиального усилия P на шпиндельном блоке; f — коэффициент трения между блоком и опорой; J_y, J_z, J_p — соответственно жесткости шпиндельного блока в направлении осей y, z и при повороте; Z — радиус блока; a_j, b_j — коэффициенты, принимающие значения $+1$ или -1 в зависимости от рассматриваемой позиции автомата; G — масса шпиндельного блока; g — ускорение силы тяжести.

Аналитическое выражение значения погрешности диаметрального размера Δd_{rj} от Δc_{mj} записывается в следующем виде:

$$\Delta d_{rj} = d_{nr} \sqrt{d_{nr}^2 - 4 \cdot d_{nr} \cdot \Delta c_{mj} \cdot \cos(\beta_j + \psi_j) + 4 \cdot \Delta c_{mj}^2},$$

где $\beta_j = \arctg \frac{\Delta z_{mj}}{\Delta y_{mj}}$; $\Delta y_{mj}, \Delta z_{mj}$ — перемещения оси рабочего шпинделя в j -ой позиции; d_{nr} — номинальный диаметр обрабатываемой поверхности; ψ_j — угловое расположение поперечного суппорта в j -ой позиции автомата.

Из приведенного выражения следует, что чем больше значение Δc_{mj} в рассматриваемой позиции, тем больше Δd_{rj} . В свою очередь, Δc_{mj} зависит от переменных параметров: M_p, P_g, P_z , возникающих под действием усилий резания P_{y_i} и P_{z_i} при работе всех инструментов наладки. Количественные значения величин P_z, P_g и M_p изменяются в зависимости от варианта размещения инструментов по позициям.

Задача распределения инструментов по рабочим позициям может быть представлена в следующей формулировке: конечное число инструментов необходимо распределить по позициям так, чтобы погрешность обработки диаметрального размера Δd_{rj} , обусловленная перемещениями шпиндельного блока автомата, была минимальной.

Формализация поставленной задачи осуществляется с учетом ряда ограничений: 1) по закреплению инструментальных переходов за определенными позициями автомата; 2) по последовательности выполнения переходов; 3) по совмещению инструментальных переходов на позиции.

Каждый i -ый инструментальный переход может быть выполнен на одной или нескольких закрепленных за ним j -ых позициях автомата. Это условие можно представить в следующем виде:

$$o \chi_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ый переход выполняется на } j\text{-ой позиции;} \\ 0 & \text{и противном случае.} \end{cases}$$

Второе условие отражает последовательность выполнения переходов:

$$X_{ij} \leq \frac{1}{p} \sum_{i \in J^{(i)}} \sum_{j \in J^{(j)}} X_{ij},$$

где $J^{(i)}$ — множество переходов, которые должны быть выполнены до i -го инструментального перехода; $J^{(j)}$ — множество позиций, на которых может быть выполнено множество переходов $J^{(i)}$; p — число элементов множества $J^{(i)}$.

Таким образом, выполнению перехода $X_{p,m}$ должно предшествовать выполнение всех предыдущих переходов вплоть до $X_{p-1,m}$.

Конструктивные особенности автоматов накладывают ограничение на количество одновременно работающих инструментов в одной позиции:

$$\sum_{i=1}^{l_2} X_{ij} \leq m_1,$$

где m_1 — максимальное количество инструментов, которое возможно установить в одной позиции автомата.

Пусть $j = m, m+1, \dots, m_2$ — позиции, на которых может быть выполнен i переход. Учитывая, что один переход может быть выполнен лишь на одной позиции автомата из нескольких возможных, можно записать: $X_{e,m} + X_{e,m+1} + \dots + X_{e,m_2} = 1$. Тогда для величин M_p , P_z и P_g будет справедливым записать следующие выражения:

$$M_p = \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^z X_{ij} [(B_j P_{yi} \cos \psi_j + P_{zi} \sin \psi_j) (\tau + \alpha_j \tau_1 \sin \alpha_j) + (P_{zi} \cos \psi_j - B_j P_{yi} \sin \psi_j) \cdot \tau_1 \cos \alpha_j],$$

$$P_z = \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^z X_{ij} (B_j P_{yi} \cos \psi_j + P_{zi} \sin \psi_j),$$

$$P_g = \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^z X_{ij} (B_j P_{zi} \cos \psi_j - P_{yi} \sin \psi_j).$$

В соответствии с полученными выражениями можно определить $\Delta c m_j$ и погрешность диаметрального размера Δd_{e_j} поверхности ℓ в j -ой позиции. Оптимальным будет такой вариант распределения инструментов, который обеспечивает $\min \{\Delta d_{e_j}\}$.

Программа, реализующая данную методику, написана на языке ФОРТ-ТАН IV и предназначена для машин единой серии ЕС ЭВМ. Она состоит из головной программы и двух подпрограмм. Головная программа осуществляет распределение инструментов по позициям. Подпрограммы осуществляют счет $\Delta c m_j$, сравнение вариантов, печать и перебор различных вариантов.

С целью определения численных значений J_y , J_z , J_φ , а также проверки аналитических выражений были проведены экспериментальные исследования. Смещение осей рабочих шпинделей вызывалось приложением к

шпиндельному блоку горизонтального усилия P_2 , вертикального усилия P_8 и момента M_p .

В главе рассмотрена методика проведения эксперимента, дается сравнительный анализ перемещений, установленных экспериментальным и теоретическим методами.

В ГЛАВЕ 5 представлена математическая модель операции и даны расчеты экономической эффективности от применения ЭВМ.

Математическая модель операции представляет собой систему, состоящую из ряда ограничений и целевой функции — технологической себестоимости — $C_{оп}$. Совокупность ограничений включает в себя ограничения по качеству обрабатываемых поверхностей и условиям обработки. К ограничениям по качеству обрабатываемых поверхностей относятся следующие: по упругим перемещениям элементов технологической системы на позиции автомата и шпиндельного блока; по допустимой высоте микронеровностей обрабатываемых поверхностей. К ограничениям по условиям обработки относятся следующие: по стойкости инструмента; по мощности, затрачиваемой на процесс резания; по подачам и скорости резания каждого инструмента; по пределам частот вращения и подачам на автомате.

Система ограничений математической модели определяет область допустимых режимов резания, из которых нужно выбрать такой вариант сочетания, которому соответствует экстремум целевой функции — минимальное значение технологической себестоимости $C_{оп} = C_{оп\min}$.

Технологическая себестоимость операции $C_{оп}$ выражается следующей зависимостью:

$$C_{оп} = \frac{L_{рх\text{лим}}}{\chi \cdot \pi \cdot n_{шп0} \cdot S_{лим}} \cdot \left[C_m + \frac{1+b}{2T_{мин0}} \cdot A \right],$$

где $L_{рх\text{лим}}$, $S_{лим}$ — длина рабочего хода и подача на лимитирующем по времени выполнении переходе; $\pi \cdot n_{шп0}$ — начальная частота вращения шпинделей; C_m — стоимость станкоминутой работы автомата; $T_{мин0}$ — стойкость лимитирующего инструмента в наладке; b — коэффициент, характеризующий отношение $\frac{T_{мин}}{T_{макс}}$ в наладке; A — коэффициент, характеризующий собой расходы, связанные с проектированием наладки, независимый от изменения режимов резания; $\chi = \pi \cdot n_{шп} / \pi \cdot n_{шп0}$.

Значение экстремума функции $C_{оп} = C_{оп\min}$ зависит от выбранной частоты вращения шпинделя $\pi \cdot n_{шп}$ и времени выполнения лимитирующего по продолжительности перехода: $t_0 = \frac{L_{рх\text{лим}}}{\pi \cdot n_{шп0} \cdot S_{лим}}$. Таким образом, с увеличением подачи на лимитирующем переходе $S_{лим}$ время обработки t_0 , а, следовательно, и себестоимость $C_{оп}$ уменьшаются.

Необходимо отметить, что производная $\frac{\partial C_{оп}}{\partial S_{лим}}$ в выражении для $C_{оп}$ в ноль не обращается и при $S_{лим} \rightarrow \infty$ технологическая себестоимость $C_{оп} \rightarrow 0$. Так как верхнее значение подачи $S_{лим}$ ограничено $S_{лим} \leq S_{max}$, то следует вывод, что функция $C_{оп}$ минимальное значение принимает при значении подачи $S_{лим} = S_{max}$.

Следовательно, независимо от начальных значений величины $n_{шп0}$ и $S_{лим}$ минимальное значение технологической себестоимости $C_{оп} = C_{оп min}$ достигается на линии $S_{лим} = S_{max}$, $n_{шп} = n_{шп0} \cdot X$. Получается уравнение с одним неизвестным X . Определение значения $X = X_{опт}$, при котором $C_{оп} = C_{оп min}$ осуществляется методом последовательного поиска.

На основании принятых значений $n_{шп}$ и S_i для каждого инструмента рассчитываются величины M_p , P_{zi} и P_{yi} и осуществляется распределение инструментов по позициям согласно методике, изложенной в главе 4. Приведенная методика расчета режимов резания применительно к обработке деталей на многошпиндельных токарных автоматах позволяет определить минимальное значение технологической себестоимости выполнения операций $C_{оп} = C_{оп min}$ при обеспечении предельно возможной точности диаметральных размеров обрабатываемых поверхностей.

Результаты математического моделирования позволили выявить влияние отдельных технологических факторов на построение операции в различных производственных условиях. Проверка адекватности математической модели реальному процессу проводилась методами статистического анализа.

Анализ экономической эффективности показал значительное сокращение трудоемкости проектных работ. Экономическая эффективность характеризовалась повышением производительности оборудования на 10-12%, снижением технологической себестоимости на 8-10%, сокращением количества технологических переходов в доделочных операциях на 20%.

Основные результаты и выводы

Выполненная работа позволила получить следующие новые научные результаты:

1. Разработана методика автоматизированного проектирования операций обработки деталей на прутковых многошпиндельных токарных автоматах.

2. Установлено влияние технологических факторов на результаты решений, принимаемых на каждом уровне проектирования /при

назначении технологических переходов на каждую поверхность; формировании совмещенных переходов; распределении инструментов по позициям автомата; формировании станочной операции в целом/.

3. Разработаны формализуемые технологические правила для принятия проектных решений и частные методики формирования совмещенных переходов и распределения инструментов по рабочим позициям автомата.

4. Сформулирован и обоснован критерий оптимальности распределения инструментов по позициям, учитывающий минимизацию погрешности обработки диаметральных размеров, вызванной перемещениями шпиндельного блока.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Методика автоматизированного проектирования операций обработки деталей на многошпиндельных токарных автоматах требует решения ряда взаимосвязанных задач /уровней проектирования/: назначение технологических переходов по каждой поверхности; формирование совмещенных переходов; распределение инструментов по позициям автомата; формирование оптимальной станочной операции в целом.

2. Для обоснованного принятия проектных решений необходимо учитывать влияние технологических факторов и параметров: количество инструментов, сложность инструмента, вариант распределения инструментов по позициям, режимы резания, точность обработки диаметральных размеров и их взаимное влияние на проектирование операции.

3. Формализация процесса формирования совмещенных переходов требует применения эвристического подхода, основанного на изучении логики и приемов работы технолог, обобщении передового производственного опыта, расчленении общего процесса решения на элементарные информационные процессы.

4. При синтезе совмещенных переходов необходимо обеспечивать минимум суммарных затрат, связанных с заменой и подналадкой инструментов, с эксплуатацией и амортизацией режущего инструмента.

5. При распределении инструментов по рабочим позициям автомата в качестве критерия оптимальности решения рекомендуется принимать минимальную погрешность диаметрального размера, вызванную перемещениями шпиндельного блока.

6. Аналитические исследования и проверка в производственных

М В Т У 5
И. Н. С. Егущина
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

условиях разработанной методики показали, что на многошпиндельных токарных автоматах имеется возможность повышения точности обработки диаметральных размеров до 9...10 квалитетов.

7. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили корректность аналитических зависимостей, определяющих погрешность обработки диаметральных размеров в зависимости от перемещений элементов технологической системы. Установлено, что снижение погрешности обработки вследствие уменьшения величины перемещений шпиндельного блока автомата позволило сократить количество технологических переходов в доделочных операциях в среднем на 20 %.

8. Разработанная методика проектирования может быть применена к условиям обработки на других многопозиционных станках токарной группы.

9. Для совершенствования проектирования оптимальной операции рекомендуется применять комплексную систему проектирования: в автоматическом и диалоговом режимах. Базой для диалогового режима может служить методика, изложенная в данной диссертации.

10. Результаты исследований опробованы и внедрены для эксплуатации в системе автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки на ряде машиностроительных предприятий. Годовой экономический эффект составил 32 тысячи рублей. Материалы исследований использованы в отраслевом стандарте ОСТ 84-1612-78 "Проектирование технологических процессов изготовления деталей на многошпиндельных автоматах с помощью ЭВМ. Типовые решения".

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Рыжов С.В. Автоматизация проектирования операций обработки для токарных многошпиндельных прутковых автоматов. В кн.: "Оптимизация процессов механической обработки на металлорежущих станках"— Киев: Общество "Знание" Украинской ССР, 1975.— с.20.

2. Рыжов С.В. Моделирование процесса распределения инструментов по рабочим позициям при обработке изделий.— Изв. вузов. Машиностроение, 1978. №11.— с.132-135, ил.

3. Капустин Н.М., Вишневецкий С.А., Рыжов С.В. Моделирование процесса формирования совмещенных переходов.— Изв. вузов. Машиностроение, 1978. №12.— с.157-160.