

М 405847

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 ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

БУРДО ГЕОРГИЙ БОРИСОВИЧ

УДК 621.941.24—529:
681.323.015

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ
НА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКАХ С ЧПУ
ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ)

Специальность 05.02.07 — Автоматизация
в машиностроении

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции 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 МАТАЛИН А. А.
кандидат технических наук
с. н. с. ШЕМЕТОВ М. Г.

Ведущая кафедра — «Двигатели»

Защита диссертации — 1983 г.
на заседании кафедры — 01 Мос-
ковского высшего технического училища им. Баумана
по адресу:

Ваш отчество, фамилия, имя, отчество, заведе-
ренном печатании, по адресу.

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

Автореферат — 1983 г.

Ученый секретарь — РЯБОВ

М405847

Подп. к печ. — 3917.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В период развернутого строительства индустриальной базы коммунистического общества наиболее важными задачами являются улучшение качества выпускаемой продукции и повышение производительности технологического оборудования. В решениях XXVI съезда КПСС отмечена необходимость повышения производительности станков и значительного увеличения металло-режущего оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Применение станков с ЧПУ является одним из важнейших направлений повышения эффективности серийного производства.

В настоящее время в промышленности широкое распространение получили многооперационные станки с ЧПУ. Этот факт не снижает, а наоборот поднимает проблему повышения производительности и точности обработки на станках указанного типа; для чего необходимо решить ряд технических, технико-экономических и организационных задач. Многооперационные станки с ЧПУ обладают широкими технологическими возможностями, полное использование которых обуславливается качественными управляющими программами, отражающими совершенство технологических разработок. Вместе с тем известно, что в большинстве случаев на многооперационные станки переносятся технологические процессы, ориентированные на универсальное оборудование, что снижает эффективность их применения. В тоже время, в дальнейшем следует ожидать еще более интенсивного применения многооперационных станков и расширения сферы их использования, особенно в гибком автоматизированном производстве.

Одним из путей повышения эффективности производства является комплексная автоматизация, включающая автоматизацию технологических процессов за счет использования станков с ЧПУ и автоматизацию инженерного труда - автоматизацию проектирования технологических процессов, составными частями которой являются оптимизация как объектов проектирования, так и процесса проектирования. Задача получения в течение длительного времени качественных технологических решений (обуславливающих высоко-

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1405847

Бурдо Г.Б. Повышение произв

I



производительную и экономичную обработку при обеспечении заданной точности) может быть решена применением системного подхода к процессу проектирования. Поэтому, выявление закономерностей и обоснование критериев процесса автоматизированного проектирования с целью его оптимизации имеет важное значение. В конструкциях корпусных деталей, обрабатываемых на многооперационных станках с ЧПУ, обычно имеется большое число ступенчатых отверстий, обработка которых требует большого числа различных инструментов, что снижает производительность и повышает трудоемкость механической обработки. Повысить эффективность обработки отверстий данного типа можно за счет совмещения переходов путем применения комбинированного осевого инструмента. Следовательно, важной задачей также является изучение факторов, влияющих на процесс формирования оптимального варианта совмещения переходов.

Цель работы. Повышение производительности и снижение себестоимости при обеспечении заданной точности обработки деталей на многооперационных станках с ЧПУ путем улучшения качества проектно-технологических решений при автоматизированном проектировании операций.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории производительности рабочих машин, теории исследования операций, теории систем, теории прогнозирования и принятия решений, аппарата математической логики. Экспериментальные исследования включали определение данных по производительности и точности обработки на многооперационных станках с использованием аппарата математической статистики.

Научная новизна. Выявлены и исследованы закономерности процесса проектирования, осуществляемого с помощью установленного состава проектных функций, и его влияние на структуру операций обработки корпусных деталей на многооперационных станках с ЧПУ; определены рациональные области использования процедур оптимизации выбора: маршрутов обработки отдельных поверхностей и детали, вариантов совмещенных переходов и режимов резания при использовании комбинированного осевого инструмента; разработана методика обеспечения достоверности решений на основе прогнозирования элементов математических

моделей расчета режимов резания при использовании комбинированного осевого инструмента; выявлены закономерности синтеза совмещенных технологических переходов обработки отверстий комбинированным инструментом и влияние результатов проектных решений на параметры технологического процесса.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований за счет качества проектных решений повышена производительность обработки на 7 + 8% и снижена ее технологическая себестоимость на 10 + 12%.

Разработанная методика прогнозирования параметров математических моделей позволяет увеличить срок их функционирования без корректировки.

Реализация работы. Выполненный комплекс работ прошел промышленную проверку и внедрен в промышленности. Опыт практического применения показал эффективность разработанной методики с точки зрения повышения качества спроектированных технологических процессов. Годовой экономический эффект, подтвержденный расчетами и актом внедрения, составил около 3,5 тыс. рублей на единицу оборудования.

Апробация работы. Материалы исследований и диссертация в целом докладывались и обсуждались: на научных семинарах кафедр "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана и "Технология машиностроения" Калининского политехнического института в 1977-1982 гг.; на республиканской научно-технической конференции в Таллине (1979); на III научно-практической конференции в Калинин (1982). Доклады получили положительную оценку.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в шести работах. Список публикаций представлен в конце автореферата.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и заключения, изложенных на 148 страницах машинописного текста. Содержит 25 таблиц, 79 рисунков, список использованной литературы из 105 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность научно-технической задачи оптимизации процесса проектирования операций

для многооперационных станков с ЧПУ формулируется цель работы, указываются новизна и основные положения, выдвигаемые на защиту, этапы проведения исследований и их аннотация.

Первая глава посвящена состоянию рассматриваемой проблемы, обоснованию и постановке задачи исследования. В ней дано представление об объекте исследования – процессе проектирования операций для многооперационных станков с ЧПУ, под которым понимается принятие решений, образующее логическую схему процесса проектирования в целом. На основании литературного обзора по направлениям использования станков с ЧПУ указывается, что технологические вопросы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ часто решаются на основе использования технологических закономерностей построения операций для универсального оборудования, автоматическая подготовка управляющих программ в основном направлена на решение задач определения режимов резания и траектории перемещения режущего инструмента; не всегда затрагиваются вопросы оптимального построения операций.

Первоначально исследования по использованию ЭВМ были ориентированы на решение частных задач технологического проектирования. Однако анализ работ, выполненных под руководством академика В.Г.Бруевича, докт.техн.наук Г.К.Горанского, Н.М.Капустина, С.П.Митрофанова, Д.М.Соломенцева, В.Л.Цветкова, канд.техн.наук В.В.Павлова и др., в которых приведены материалы по созданию автоматизированной системы проектирования технологических процессов, показывают, что накоплен большой объем теоретического и экспериментального материала, дающего возможность дальнейшего развития автоматизированного проектирования. В работе отмечается, что применение ЭВМ ставит задачу использования методов теории проектирования и теории систем для моделирования процесса проектирования с целью его оптимизации, выявления механизма принятия достоверных решений в течение длительного времени. Обзор работ докт.техн.наук А.А.Маталдина, канд.техн.наук В.Ф.Мдановича, М.Т.Шеметова и др. по исследованию технологических возможностей и областей рационального применения многооперационных станков, показал, что имеются реальные предпосылки для выявления закономерностей процесса проектирования технологических операций для оборудования

данного типа и обеспечения необходимой их эффективности на стадии проектирования. Но вследствие того, что проектирование технологических процессов относится к случаю многовариантных, индетерминированных задач, выявлено, что в настоящее время нет в достаточном количестве аналитических и логических зависимостей, связывающих структуру и параметры обработанной детали со структурой технологического процесса обработки корпусных деталей на многооперационных станках.

На основании литературного обзора и производственных наблюдений было выявлено, что трудоемкость обработки неосновных ступенчатых отверстий в корпусной детали составляет до 30 + 40 % от суммарной, причем отверстия диаметром менее 30 мм составляют до 70 % от их общего числа. Это требует большой номенклатуры мерного инструмента для сверлильных работ, снижает производительность обработки. В литературе имеются упоминания о возможности использования комбинированного инструмента на многооперационных станках, однако в ней не содержится рекомендаций по выбору оптимального варианта совмещения.

На основании вышеизложенного в главе делается вывод о необходимости исследований в области оптимизации процесса проектирования операций обработки на многооперационных станках с ЧПУ, и в соответствии с целью работы ставятся следующие задачи:

1. Выявить структуру и иерархию процесса проектирования операций обработки корпусных деталей на многооперационных станках, и установить ее влияние на содержание операций.

2. Установить аналитические, эмпирические и логические зависимости, отражающие содержание проектных функций; разработать математические модели: маршрута обработки детали, совмещенных переходов, определения плана и последовательности обработки поверхностей и оптимальных условий выполнения переходов при использовании комбинированного осевого инструмента.

3. Выявить технологические параметры, управляя которыми в процессе проектирования можно повысить производительность и снизить себестоимость обработки на многооперационных станках с ЧПУ.

4. Определить систему критериев и целевых функций на уровнях процесса проектирования операций обработки корпусных деталей

на многооперационных станках с ЧПУ и разработать методику его формализации.

5. Выявить закономерности и разработать методику, позволяющую определить целесообразность использования комбинированного осевого инструмента на многооперационных станках с ЧПУ.

6. Реализовать разработанные модели и методики, проверить их адекватность реальному процессу обработки; определить технико-экономическую эффективность результатов исследования.

Во второй главе проведено теоретическое исследование процесса принятия и оценки решений (процесса проектирования), при проектировании операций обработки корпусных деталей на многооперационных станках с ЧПУ. Функция (Φ) процесса проектирования состоит в качественном и количественном преобразовании исходной информации (состояние S_0) в конечное состояние, отвечающее техническим требованиям, предъявленным к готовой детали (состояние S_k):

$$\Phi: S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_j \rightarrow \dots \rightarrow S_k. \quad (I)$$

Промежуточные состояния информации (S_j) следует рассматривать как уровни процесса проектирования. Необходимость декомпозиции исходной задачи на урочки проектирования обуславливается сложностью комплексного решения, при котором необходимо учитывать большое число факторов, влияющих на содержание операции. На основании проведенного структурного анализа показано, что процесс проектирования операций состоит из шести иерархически взаимосвязанных уровней проектирования: 1) назначение маршрута (плана) обработки отдельных поверхностей; 2) предварительное формирование укрупненных установов (предварительного маршрута) обработки детали. Под укрупненным понимается установ, в который включены переходы без учета технологических возможностей оборудования; 3) уточнение маршрута обработки детали; 4) синтез совмещенных технологических переходов обработки отверстий комбинированным осевым инструментом; 5) определение последовательности выполнения переходов в операции; 6) расчет режимов резания. Приведено структурное описание каждого уровня процесса проектирования.

В работе процесс проектирования представлен как логические структуры преобразования информации, характеризующиеся

сложной проектной функцией (ПФ). Проектная функция должна включать оптимизационные, логические и интуитивные звенья, то есть:

$$ПФ = (\Sigma ОФ, \Sigma ЛФ, \Sigma ИФ),$$

где $\Sigma ЛФ$ – логические функции (типовые проектные решения) обладающие свойствами дискретности и определенности; $\Sigma ОФ$ – оптимизационные функции (выявленные количественные зависимости результатов решения от значений определенных аргументов с экстремацией отдельных параметров); $\Sigma ИФ$ – интуитивные функции (субъективные знания проектировщика), реализуемые в диалоговом режиме. В работе приведено математическое описание функций всех видов, выявлено их соотношение в зависимости от уровня типизации процесса проектирования и динамики производственных условий.

Для получения оптимального решения на низшем (6-ом) уровне, необходимо на предшествующих производить отбор нескольких близких к оптимальным решений в соответствии с определенными критериями, т.к. оптимальный вариант определяется не только результатом решения на последнем уровне, но и зависит от решений, принимаемых на высших уровнях проектирования.

На высших уровнях критерии должны иметь логический характер, на низшем – количественный. На основании проведенного анализа были выявлены критерии оптимальности на всех уровнях процесса проектирования. Избранные критерии должны отвечать одним и тем же показателям эффективности технологического процесса.

Важным моментом формализации процесса проектирования является поддержание соответствия принятых решений реальным условиям производства в течение длительного времени, т.е. обеспечение достоверности системы проектных функций при наличии динамичных производственных условий. Это может быть достигнуто прогнозированием параметров моделей. Действие на модель по этому методу осуществляется как в резервировании решающих правил (логических функций), так и применением оптимизационных функций при неполной определенности.

В настоящее время известно большое число методов прогнозирования, однако их анализ показал, что вследствие сложности и наличия трудноформализуемых структур моделей процесса проектирования, наиболее целесообразными являются прогнозирование по методу экстраполяции тенденций и интуитивными методами.

Модели процесса проектирования, построенные в соответствии с указанными принципами, позволяют поднять уровень технологических разработок, усовершенствовать процесс проектирования.

В третьей главе приведено исследование факторов, влияющих на процесс формирования совмещенных переходов и разработана система проектных функций. Реализация совмещенных технологических переходов производится путем применения комбинированного осевого инструмента на операциях обработки, выполняемых на многооперационных станках с ЧПУ. Необходимость синтеза совмещенных переходов обусловлена рядом причин: 1) превышение предполагаемого числа инструментов, необходимых для выполнения технологической операции, над количеством мест для их крепления в инструментальном магазине станка; 2) снижение оперативного времени (повышение производительности) посредством технологических мероприятий; 3) наличие ранее изготовленного и подходящего по размерам комбинированного инструмента; 4) обеспечение повышенных требований на отклонение взаимного расположения поверхностей ступенчатого отверстия.

Задача формирования совмещенных переходов состоит в сокращении числа инструментальных переходов путем оптимального совмещения элементарных переходов обработки поверхностей. То обстоятельство, что один технологический переход может быть совмещен с несколькими, приводит к многовариантной задаче.

Задача считается решенной, когда созданы множества вариантов совмещенных переходов

$$\sum BC_k = \sum (\sum CP_j)_k,$$

где BC_k -- k -ый вариант совмещения; CP_j -- j -ый совмещенный переход в K -ом варианте совмещения.

С помощью логических функций производится решение следующих задач:

1. Указание оптимальной совокупности переходов для присоединения к базовому переходу. Поиск такой совокупности осуществляется с помощью ряда предпочтительности переходов для совмещения, среди переходов, входящих в маршрут обработки конкретного ступенчатого отверстия (как совокупности нескольких элементарных поверхностей).

2. Проверка наличия пригодного для обработки инструмента.

3. Обеспечение требования соизмеримости точности и шероховатости поверхностей, обработка которых может быть совмещена. Таким образом, логическими функциями выявляются принципиально возможные варианты совмещенных переходов.

Системой оптимизационных функций определяется оптимальность вариантов совмещения, синтезированных с помощью логических функций. Ими анализируется изменение следующих величин при обработке универсальным (УИ) инструментом по сравнению с комбинированным (КИ):

а) денежных затрат на эксплуатацию и амортизацию инструмента (W), $\Delta W = W_{УИ} - W_{КИ}$; б) основного технологического времени (t_o), $\Delta t_o = t_o^{УИ} - t_o^{КИ}$; в) вспомогательного времени за счет сокращения числа холостых перемещений узлов станка (t'_o), $\Delta t'_o = t'^{УИ}_o - t'^{КИ}_o$; г) себестоимости (C) обработки, $\Delta C = C_{УИ} - C_{КИ}$; д) трудоемкости (T) обработки, $\Delta T = T_{УИ} - T_{КИ}$; е) величины вспомогательного времени за счет сокращения времени наладки ($t_{на}$) станка, $\Delta t_{на} = t_{на}^{УИ} - t_{на}^{КИ}$; ж) числа элементарных переходов;

где $\sum ЭПЕР^I_i - (\sum ЭПЕР^I_i + \sum СП_i) \geq PC(-max)$, (2)
 $\sum ЭПЕР^I_i$ - число элементарных переходов, имевшихся до и оставшихся после совмещения; $\sum СП_i$ - число совмещенных переходов; PC - показатель совмещения (величина, характеризующая необходимый уровень уменьшения числа режущих инструментов). Если выражение (2) является целевой функцией, то значение величины PC должно стремиться к максимуму.

Оптимизационными функциями в тоже время ограничивается:

а) соотношение диаметров ступеней комбинированного инструмента при параллельной их работе для предотвращения недоиспользования производительности обработки вследствие необходимости уменьшения подачи для ступени комбинированного инструмента большего диаметра: $d_{max}/d_{min} \leq K_g$, где d_{max} , d_{min} - наибольший и наименьший диаметры ступеней, K_g - предельное соотношение диаметров ступеней, устанавливаемое по допустимой разнице подач;

б) выбор вариантов совмещенных переходов по допустимой разнице скоростей резания при параллельной обработке различными ступенями предполагаемого комбинированного инструмента, вследствие возникновения разницы в периодах стойкости ступеней комбинированного инструмента.

Функция имеет вид: $d_{\max}/d_{\min} \leq K_v$, где K_v – предельное соотношение диаметров, устанавливаемое по допустимой разнице периодов стойкости ступеней.

В работе приведена развернутая математическая запись всех логических и оптимизационных функций для различных условий обработки. Включение данных зависимостей в математическую модель формирования соvmещенных переходов позволит получать технологические решения высокой степени достоверности.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального анализа производительности и точности обработки на многооперационных станках с ЧПУ. Исследование производительности обработки проводилось с целью определения количественной оценки критерия оптимальности низшего уровня процесса проектирования на многооперационном станке модели MC 12-250 по методике профессора Л.И.Волчкевича. По данным наблюдений был выявлен баланс производительности многооперационного станка и намечены пути сокращения потерь различных видов. Полученные оценки факторов, влияющих на фактическую производительность, позволили количественно определить оценочную функцию, которая дает возможность назначить оптимальные режимы резания на каждом переходе:

$$Q_{\phi} = n_j s_j / [C_{\phi j} + n_j s_j (t_x + t_e + t_{apz}) + s_j C_{\phi j} n_j^{m_{v_i}}],$$

где s_j, n_j – расчетные значения подачи и частоты вращения;
 l_j – длина пути резания i -го инструмента на j -ом переходе;
 t_x, t_e, t_{apz} – потери по холостым ходам, оборудованию и оргпричинам, $C_{\phi j} = C_{\phi j}^0 / n_0^{m_{v_i}-1}$ – коэффициент; $C_{\phi j}^0$ – потери времени по i -му инструменту для j -го перехода; n_0 – базовая частота вращения; m_{v_i} – показатель при скорости резания в стойкостно-скоростной зависимости для i -го инструмента.

При анализе точности исследовался процесс обработки ступенчатых отверстий комбинированным осевым инструментом. Аналитические зависимости, полученные канд.техн.наук Шеметовым М.Г. и определяющие величину разбивки и увода оси отверстия при обработке универсальным инструментом, были преобразованы для случая применения комбинированного путем подстановки в расчетные формулы эквивалентного диаметра инструмента.

Экспериментально были исследованы зависимости разбивки и увода оси отверстия от величины подачи (осевого усилия); вылета сверла, глубины сверления. Обработке подвергались заготовки из серого чугуна и алюминиевых сплавов. Величина разбивки и

увода оси отверстия определялась прибором для контроля формы и расположения поверхностей — кругломером модели 218. Было выявлено, что увод оси отверстия при сверлении определяется уводом ступени меньшего диаметра, так как величина усилий резания на ступени инструмента большого диаметра не превышает $10 + 12\%$ от величины аналогичных усилий на ступени меньшего диаметра. Это, при наличии направления по ступени отверстия меньшего диаметра, не вызывает увеличение существующего увода оси. Разбивка ступени отверстия большого диаметра уменьшается по сравнению с обработкой универсальным инструментом того же диаметра. Сравнение результатов экспериментальных исследований точности обработки со значениями увода оси и разбивки отверстия, полученными по аналитическим зависимостям показало, что погрешность расчета не превышает 10% . Это позволило включить их в математическую модель расчета режимов резания.

В пятой главе изложена методика процесса проектирования операций обработки корпусных деталей на многооперационных станках с ЧПУ. Основными моментами этой методики является моделирование процесса проектирования на всех его уровнях.

Наиболее важным этапом при моделировании процесса назначения маршрута обработки отдельных поверхностей явилось выявление логических условий, влияющих на выбор того или иного комплекса переходов. Задача выбора была сведена к табличному алгоритму, в котором учтены критерии оптимальности I-го уровня процесса проектирования — максимальная мощность пересечения $|M_{пер}|$ в обобщенном маршруте обработки поверхностей при одновременном требовании минимизации мощности обобщенного маршрута $|M_{об}|$ обработки поверхностей:

$|M_{пер}| = \bigcap_{j=1}^n |M_{ОП_j}| \rightarrow \max; |M_{об}| = \bigcup_{j=1}^n |M_{ОП_j}| \rightarrow \min,$
 где $M_{ОП_j}$ — маршрут обработки j -ой поверхности.

На практике могут встретиться детали, полная обработка которых невозможна или нецелесообразна на станках с ЧПУ. Поэтому, следует выделить переходы, выполняемые на другом оборудовании; эта задача решается особой системой проектных функций.

На уровне предварительного формирования маршрута в соответствии с критерием оптимальности — минимизацией числа установов ($\sum U_i \rightarrow \min$), формируют их последовательность,

обеспечивающую полную обработку детали без учета технологических возможностей станка. Формирование установов с учетом ряда ограничений продолжается до тех пор, пока суммарное число обрабатываемых сторон обработки $(\sum_{i=1}^e m_i)$ не будет равно числу сторон обработки детали (K) , а на каждом установе число сторон обработки максимально: $\forall \sum_{i=1}^e (CO_i); i \in \sum_{i=1}^e y_i [(m_i - \max) \wedge (\sum_{i=1}^e m_i = K)]$, где $i = \overline{1, e}$; e - число установов (y_i); m_i - число сторон обработки (CO) на i -ом установе.

При проектировании маршрута состав переходов в операции конкретизируется, исходя из технологических возможностей конкретного станка по типу взаимного расположения сторон обработки и емкости инструментального магазина. Если технологические возможности станка не обеспечивают выполнение предполагаемой совокупности переходов, то производят уточнение их состава - выделение переходов, которые не могут быть выполнены на данной операции, по определенным правилам. Каждая последующая операция формируется из переходов, выделенных при уточнении состава предшествующих операций и переходов, включенных в соответствующие установы предварительно сформированного маршрута.

Таким образом, на этом уровне производится уточнение количества операций в маршруте, выбор оптимальных маршрутов в соответствии с критерием оптимальности (минимизация числа операций в маршруте) и модели станка.

Предложенная методика формирования совмещенных переходов состоит в следующем. На первом шаге формируются принципиально возможные варианты совмещенных переходов с учетом ограничений количественного и логического характера для каждого варианта совмещения (по оптимальной совокупности переходов для присоединения к базовому, по соизмеримости точности и шероховатости базового и присоединяемого переходов, по перепаду диаметров ступеней комбинированного инструмента).

На втором шаге из конкретных совмещенных переходов, сформированных с учетом вышеуказанных ограничений, образуются их группы. Для совмещенных переходов, вошедших в группу, ограничивается:

1. Изменение суммарной себестоимости (С) обработки комбинированными инструментами для группы из m совмещенных переходов

(конкретного варианта совмещения) по сравнению с обработкой универсальными инструментами:

$$\sum_{i=1}^m \Delta C_i = \sum_{i=1}^m (C_{УИ} - C_{КОИ}) \geq 0.$$

2. Изменение суммарной трудоемкости (T) обработки комбинированными инструментами по сравнению с универсальными:

$$\sum_{i=1}^m \Delta T_i = \sum_{i=1}^m (T_{УИ} - T_{КОИ}) \geq 0.$$

Среди вариантов, отвечающих последним ограничениям, производится отбор наилучших вариантов в соответствии с критерием оптимальности:

$$\sum_{i=1}^m \Delta C_i \rightarrow \max.$$

Данная математическая модель была реализована на алгоритмическом языке **FORTRAN IV ЕС ЭВМ**.

Для определения оптимальной последовательности выполнения переходов в операции, обуславливающей минимальную длительность взаимных холостых перемещений инструмента и детали, была модифицирована математическая модель, предложенная канд. техн. наук Кравченко И.И., введением в нее двух дополнительных ограничений. Это позволило значительно расширить область ее применения (базовая модель позволяла определять оптимальную последовательность обработки лишь 17+20-ти поверхностей детали).

При определении оптимальных режимов резания при обработке ступеню комбинированного инструмента минимального диаметра ограничениями технологической системы являются следующие: 1) по стойкости режущего инструмента; 2) по прочности и жесткости инструмента; 3) по заданной точности межосевых расстояний; 4) по разбивке и вводу оси отверстия; 5) по кинематике станка. Для ступени большего диаметра необходим учет только некоторых из вышеперечисленных, их состав определяется видом совмещения переходов во времени. При последовательном совмещении, ограничениями для ступени инструмента большего диаметра являются 1), 2) и 5), действующие самостоятельно, а при параллельном - актуальны ограничения 1) и 5), которые после вступления ступени большего диаметра в работу действуют совместно с ограничениями для ступени инструмента меньшего диаметра.

Разработанная методика прогнозирования параметров математических моделей по методу экстраполяции тенденций была реализована при создании прогностической модели расчета оптимальных режимов резания. Были выявлены зависимости, отражающие тенденции изменения скоростей резания и величин подач для различных

сочетаний материала заготовки и инструмента, размеров отверстия, вида обработки.

Результаты реализации разработанной методики в производственных условиях показали, что средняя фактическая производительность обработки корпусных деталей на многооперационных станках за счет сокращения основного и вспомогательного времен обработки, применения комбинированного инструмента, оптимизации режимов резания, возросла с 0,0117 шт/мин до 0,0126 шт/мин.

В шестой главе произведена оценка полученных результатов и расчет технико-экономической эффективности исследования и результатов внедрения.

Приводится расчет годового экономического эффекта на единицу оборудования, полученного при использовании разработанной методики в промышленности.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Одним из путей повышения производительности обработки на многооперационных станках следует считать оптимизацию процесса проектирования операций, проводимую на следующих уровнях:

а) назначение планов обработки поверхностей; б) построение маршрута обработки детали; в) совмещение технологических переходов при обработке отверстий комбинированным осевым инструментом; г) определение последовательности обработки поверхностей; д) расчет режимов резания.

2. При оптимизации процесса проектирования, на каждом уровне необходимо получить не единственный оптимальный вариант, а несколько целесообразных, из которых производится выбор оптимального варианта на низшем уровне.

3. Критерии оптимальности процесса проектирования, направленные на повышение производительности при обеспечении заданной точности обработки, должны иметь логический характер на высших уровнях и количественный – на низших.

В качестве критериев оптимальности при обработке на многооперационных станках целесообразно выбрать следующие: 1) минимизация числа операций; 2) снижение трудоемкости (себестоимости) обработки комбинированным осевым инструментом по сравнению с универсальным; 3) минимизация неполного вспомогательного времени; 4) максимальная фактическая производительность.

4. Для получения достоверных технологических решений, необходимо процесс проектирования представлять проектной функцией, являющейся производной от оптимизационных, логических и интуитивных функций. Их состав и формальный вид определяется типом решаемых задач.

5. Качество проектных решений определяется, главным образом, структурной оптимизацией, проводимой на уровнях построения маршрута обработки, формирования совмещенных переходов и определения последовательности выполнения переходов. Параметрическая оптимизация на уровне расчета режимов резания позволяет выявить наилучший вариант.

6. В целях снижения трудоемкости обработки и обеспечения точности взаимного расположения поверхностей ступенчатых отверстий, целесообразно применять комбинированный осевой инструмент, когда его стоимость не превышает стоимости универсального инструмента в 2 + 2,5 раза.

7. Для получения оптимальных решений в течение длительного времени, необходимо осуществлять прогнозирование параметров математических моделей, подверженных наибольшему изменению во времени. Проведенный в работе анализ показал, что такими являются параметры математической модели расчета режимов резания, которые целесообразно прогнозировать по методу экстраполяции тенденций.

8. Проведенные исследования показали, что при использовании положений методики построения оптимальных операций обработки корпусных деталей на многооперационных станках, производительность обработки увеличивается на 7-8 %, а себестоимость снижается на 10-12%.

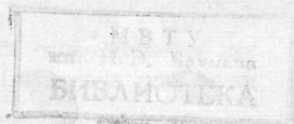
9. Выполненный комплекс исследований прошел промышленную проверку и внедрен на машиностроительном предприятии с годовым эффектом около 3500 руб. на единицу оборудования (согласно акту внедрения).

Основные результаты работы опубликованы в следующих изданиях:

1. Диланян Р.З., Бурдо Г.Б. Оптимизация методики автоматизированного проектирования технологических процессов обработки корпусных деталей. - Усовершенствование технологической

подготовки машиностроительных и приборостроительных предприятий с применением средств вычислительной техники: Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции. Таллин, 1979, с.38-41.

2. Бурдо Г.Б. Повышение достоверности принятия решений при проектировании технологических процессов. - Молодые ученые и специалисты - народному хозяйству Нечерноземья: Тезисы докладов на III научно-практической конференции, посвященной 60-летию образования СССР. Калинин, 1982, с.26-27.
3. Бурдо Г.Б. Процесс формирования маршрута обработки корпусных деталей. - Изв.высших учебных заведений СССР. Сер.машиностроение, 1981, № 5, с.135-138.
4. Капустин Н.М., Бурдо Г.Б. Анализ и синтез процесса формирования совмещенных технологических переходов. - Изв. высших учебных заведений СССР. Сер. машиностроение, 1980, № 7, с. 139-142.
5. Бурдо Г.Б., Диланян Р.З. Моделирование процесса принятия технических решений при технологическом проектировании проектной функцией. - Молодые ученые и специалисты народному хозяйству Нечерноземья: Тезисы докладов на III научно-практической конференции, посвященной 60-летию образования СССР. Калинин, 1982, с.27-28.
6. Капустин Н.М., Бурдо Г.Б. Принятие и оценка решений при формировании операций механической обработки. - Изв. высших учебных заведений СССР. Сер. машиностроение, 1980, № 6, с 137-141.



ЕА07596 Тираж 130. Зак. 3877-28/VI-83.
2 Калинин для типографии