

05.02.08  
0-664

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ  
ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

на правах рукописи

ОРЛОВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ

УДК 621.914.1

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОПЕРЕХОДНЫХ  
ТОКАРНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск

1990

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения"  
Челябинского политехнического института имени Ленинского ком-  
сомола.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки  
и техники РСФСР, доктор  
технических наук, профессор  
КОРЧАК С.Н.

Официальные оппоненты - заслуженный деятель науки  
и техники РСФСР, доктор  
технических наук, профессор  
ШАРИН В.С.  
- кандидат технических наук  
ПОПОВ Л.М.

Ведущее предприятие - Копейский машиностроительный  
завод имени С.М. Кирова

Задача состоится "21 " июня 1990 года  
в 15 часов на заседании специализированного совета  
К 053.13.01 Челябинского политехнического института имени  
Ленинского комсомола по адресу: 454080, г. Челябинск,  
пр. им. В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.  
Автореферат разослан " " 1990 года.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
докт. техн. наук, профессор

*Ильин И.Я.* Мирнов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Для современного уровня развития техники характерно использование большого количества деталей типа вал. Растущие требования к повышению производительности и точности механической обработки таких изделий приводят к необходимости автоматизации процессов их изготовления. В настоящее время одним из основных средств автоматизации механической обработки валов являются токарные станки с ЧПУ. Высокие требования к точности привели к необходимости многопереходной обработки на таких станках.

Однако из-за недостаточной изученности процесса многопереходной обработки на токарных станках с ЧПУ существует разрыв между постоянно возрастающими технологическими возможностями станков с ЧПУ и сложностями в обеспечении необходимой точности обработки на стадии подготовки управляющих программ. Большая трудоемкость отладки управляющих программ объясняется необходимостью их многократного перепрограммирования, в основном с целью подбора необходимого для достижения заданной точности количества переходов и режимов резания на каждом переходе.

Существенное влияние на точностные показатели детали оказывает большое количество технологических факторов, учет которых в настоящее время производится интуитивно, т.е. с учетом субъективного опыта разработчика управляющей программы. Для сокращения времени отладки программ технолог идет на заведомое увеличение количества переходов и снижение режимов резания с целью гарантированного обеспечения точности и качества обрабатываемых поверхностей, и следовательно, на соответствующее снижение производительности процесса обработки. При этом технологические возможности станков с ЧПУ часто не используются полностью, такое положение объясняется отсутствием научно обоснованных нормативных материалов, уч-

тывающих связь количества переходов, глубины резания, подачи и других режимных параметров с качеством, и главным образом, с точностью обработки. Таким образом, разработка рекомендаций по назначению количества переходов, глубины резания и подачи на стадии проектирования многоперходных токарных операций на станках с ЧПУ для обеспечения качественных показателей обрабатываемых деталей является актуальной задачей. Численные связи этих параметров необходимы также для автоматизации проектирования операций, выполняемых на станках с ЧПУ. Наличие многофакторности процесса много-переходной обработки, а также ограниченные возможности эмпирических зависимостей, учитывающих узкий диапазон варьирования параметров резания, вызывают необходимость использовать аналитические зависимости для реализации управления режимами резания в широком диапазоне изменения точности обработки от 14 до 7 квалитетов.

Цель работы. Повышение производительности многоперходных токарных операций на стадии проектирования за счет расчета оптимального, для достижения заданной точности, количества переходов с учетом влияния технологических факторов, глубины резания и подачи на каждом переходе. Разработка на этой основе нормативных таблиц по назначению количества переходов, глубин резания и подач, обеспечивающих требуемую точность обработки, а также соответствующих режимных блоков САПР.

Основные задачи. В работе решались следующие задачи:

1. Разработать расчетную методику определения оптимального, с точки зрения максимальной производительности, количества переходов, необходимых для достижения заданной точности, с учетом влияния различных технологических факторов.

2. Разработать, на основе моделирования силового взаимодействия элементов технологической системы, аналитические зависимости для расчета режимов резания на каждом переходе при обработке деталей на токарных станках с ЧПУ.

3. Разработать, произвести производственную проверку и внедрить нормативы режимов резания и соответствующие блоки САПР операций точения, учитывающих связь необходимого количества переходов, глубины резания и подачи с требуемой точностью обработки.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории резания металлов, законов механики и аналитической геометрии.

Достоверность полученных аналитическим путем результатов проверялась экспериментально в производственных условиях по разработанной методике. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась методами математической статистики. Вычисление и математическое моделирование выполнялось на ЭВМ СМ-4 и Электроника 0585.

Научная новизна. 1. На основе баланса работ активных и реактивных сил разработана широкодиапазонная аналитическая зависимость, отражающая влияние на точность обработки погрешности заготовок. Данная зависимость вошла в математическую модель управления процессом многопереходного точения в качестве технологического ограничения по точности обработки.

2. На основе метода динамического программирования, впервые разработана методика расчетного определения, оптимального количества переходов, с указанием промежуточных квалитетов. Данная методика использована в режимных блоках САПР операций точения.

3. На основе изучения влияния различных технологических факторов: размеров детали, жесткости станка, геометрических параметров инструмента, физико-механических свойств обрабатываемого материала, стойкости инструмента, на количество переходов, выявлены доминирующие факторы и получены численные ограничения, по которым для конкретных условий обработки определены оптимальные количества переходов.

Практическая ценность. I. Для токарных станков с системами ЧПУ класса NC разработаны общемашиностроительные нормативы режимов резания для операций точения, впервые учитывающие связь назначаемого количества переходов, глубин резания и подач с требуемой точностью обработки.

2. Разработана и внедрена на заводах программа для ЭВМ, позволяющая автоматизировать расчет количества переходов, глубин резания и режимов резания, с учетом конкретных условий обработки. Программа используется в качестве отдельного программного модуля и в качестве режимного блока САПР операций точения, а также может быть использована в системах управления станками от ЭВМ (классы CNC и DNC).

Промышленное использование разработанных нормативных материалов позволило: сократить сроки отладки управляющих программ в среднем на 40%, при обеспечении заданной точности обработки, увеличить уровень режимов резания на 10...40% и соответственно сократить основное время.

Реализация работы. На Челябинском автоматно-механическом заводе внедрен "Руководящий материал по режимам резания для точения на станках с ЧПУ". На Копейском машиностроительном заводе имени С.М. Кирова внедрение подобных руководящих технических материалов дало экономический эффект 30,1 тыс. руб. в год. Внедрение руководящих нормативных материалов и программы автоматизированного расчета количества переходов, глубины резания и режимов резания на Троицком станкостроительном заводе дало экономический эффект 3,1 тыс. руб. в год. Внедрение руководящих нормативных материалов на Челябинском заводе специального инструмента и оснастки дало экономический эффект 27,3 тыс. руб. в год.

По заданию Центрального бюро нормативов по труду (ЦБНТ) при Госкомтруда СССР (тема 86/18) в плане выполнения задания № 08.01.1 (общесоюзной научно-технической программы 0.76.01) раз-

работаны и опробованы на 18 предприятиях восьми министерств "Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением", раздел "Точение", которые в настоящее время находятся в печати.

Основные положения данной работы используются в учебном процессе при чтении лекций по курсу "Технология автоматизированного производства". Разработанный на базе исследований блок САПР ТП по расчету количества переходов, глубины резания и режимов резания используется студентами при выполнении дипломных проектов.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Уральской зональной научно-технической конференции "Пути повышения эффективности и уровня использования станков с ЧПУ", Свердловск, 1988 г., на Всесоюзной научно-технической конференции "Технологическое и нормативное обеспечение станов с ЧПУ и гибких производственных систем", Челябинск, 1988 г., на научно-техническом семинаре "Управление точностью и качеством обработки в обще-машиностроительных нормативах режимов резания и нормах времени для металорежущих станов, в том числе для станов с ЧПУ", Челябинск, 1988 г., на ежегодных научно-практических конференциях преподавателей и сотрудников Челябинского политехнического института 1986 - 1990 г.г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 105 страницах машинописного текста, содержит 42 рисунка, 21 таблицу, список литературы из 103 наименований и II приложений на 26 страницах. Общий объем работы 182 страницы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Использование широких возможностей станков с числовым программным управлением для увеличения производительности много-переходной обработки и уменьшения ее погрешностей, сдерживается из-за сложности и большой трудоемкости подготовки управляющих программ.

Одной из причин этого является то обстоятельство, что от технолога требуется не только рассчитать траекторию движения инструмента, но и произвести на этапе подготовки управляющей программы адаптацию режимов и других факторов процесса резания к состоянию конкретной технологической системы.

Обзор литературных источников показал отсутствие четкой количественной связи числа переходов и глубины резания с условиями обработки и требованиями к ее качеству. Однако от количества переходов прямо зависит величина основного времени, а глубина резания выступает исходным данным при выборе подачи и скорости резания. Таким образом, назначаемые технологом режимы резания оказываются существенно зависимыми от его субъективных решений и требуют в дальнейшем многократных корректировок.

Отсутствие четких рекомендаций по выбору количества переходов, глубин резания и подач сдерживает решение задачи повышения производительности и обеспечения точности многопереходной обработки на токарных станках с ЧПУ. Существующие методики расчета необходимого количества переходов, а также режимов резания на каждом переходе в настоящее время основываются на математических моделях, описывающих доминирующие погрешности обработки.

Научные основы формирования погрешностей и достижения точности обработки заложены в трудах А.П. Соколовского, Б.С. Балакшина,

В.С. Корсакова, В.М. Соломенцева, Б.М. Базрова и других советских ученых. Исследования показывают, что доминирующими погрешностями в условиях черновой и получистовой обработки на токарных станках с ЧПУ являются погрешности от упругих деформаций элементов технологической системы, а в условиях чистовой и отделочной обработки – размерного износа резца. Качество управления точностью обработки определяется адекватностью используемых зависимостей реальным условиям обработки. Применение эмпирических (узкодиапазонных) зависимостей не позволяет создать гибкую и универсальную модель процесса резания для управления режимом обработки в широких условиях варьирования от черновой до отделочной обработки. Необходимо разработать математические модели управления, основанные на аналитических зависимостях, которые наиболее полно отражают физический процесс взаимодействия инструмента и детали и связывают режимные параметры обработки с точностными показателями детали в широком диапазоне варьирования переменных. Решение этой задачи посвящены следующие разделы.

## 2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ПЕРЕХОДОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Как было показано выше, доминирующей, в условиях многопереходной обработки на станках с ЧПУ, является погрешность возникающая вследствие упругих деформаций технологической системы. Причем конечная точность детали определяется величиной уточнения на каждом из переходов операции, поэтому для установления связи между упругими деформациями и точностью обработки разработана аналитическая зависимость, позволяющая рассчитать коэффициент уточнения  $\Sigma$ :

$$\Sigma = \frac{1}{W_z(A_z \cdot S \cdot K_1 + \mu \frac{C \cdot K_2}{\sin \varphi}) + W_y(A_y \cdot S \cdot K_1 \cos \varphi + \frac{C \cdot K_2}{\tan \varphi}) + W_x(A_x \cdot S \cdot K_1 + C \cdot K_2)}, \quad (I)$$

где  $S$  - подача;

$\varphi$  - угол в плане;

$\mu$  - коэффициент трения;

$W_z, W_y, W_x$  - податливости технологической системы соответственно по осям  $Z, Y, X$ ;

$A_z, A_y, A_x$  - коэффициенты, зависящие от: интенсивности напряжений  $C$ : в деформируемом объеме металла, которая характеризует механические свойства заготовки, угла действия  $\varphi$  и угла сдвига  $\beta$ ;

$C_z, C_y, C_x$  - коэффициенты, зависящие от угла действия, угла сдвига, степени затупления инструмента  $\ell_3$ ;

$K_1, K_2$  - коэффициенты, учитывающие относительные колебания: жесткости станка, интенсивности напряжений в деформируемом объеме металла заготовки, степени затупления инструмента.

Коэффициенты  $A_z, A_y, A_x, C_z, C_y, C_x$  введены в силу громоздкости полных выражений описывавших данные параметры.

Данная математическая модель разработана на основе широкодиапазонных аналитических силовых зависимостей, полученных по расчетной схеме С.Н. Корчака в работах В.И. Гузеева и Е.П. Ефимова:

$$P_z = A_z \cdot S \cdot (t + B_z) + \mu \cdot C \cdot \left( \frac{t}{\sin \varphi} + D_z \right)$$

$$P_y = A_y \cdot S \cdot (t \cdot \cos \varphi + B_y) + C \cdot \left( \frac{t}{\tan \varphi} + D_y \right) \quad (2)$$

$$P_x = A_x \cdot S \cdot (t \cdot \sin \varphi + B_x) + C \cdot (t + D_x),$$

где  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ,  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_z$  - коэффициенты, зависящие от радиуса при вершине резца, главного и вспомогательного углов в плане.

Для обеспечения заданной точности обработки с максимально допустимыми, для данных условий, режимами резания на основе выражения (1) разработана модель точности, функционально связывающая глубину резания и подачу с податливостью технологической системы, а также с допусками детали и заготовки:

$$S = \frac{\Delta z - C_2 \cdot W_z \cdot K_z - C_1 \cdot K_1 \cdot W_z - C_3 \cdot W_x \cdot K_x}{W_z \cdot A_z \cdot K_z + W_x \cdot A_y \cdot K_y \cdot \sin \varphi + W_x \cdot A_x \cdot \sin \varphi \cdot K_1}, \quad (3)$$

где  $\Delta z$ ,  $\Delta x$  - допуски размера детали и заготовки.

Для проверки адекватности модели был проведен статистический анализ точности обработки нескольких партий деталей на токарном станке с ЧПУ модели ИБК20ФЗ в условиях действующего производства. Результаты анализа показали, что полученная модель верно отражает влияние технологических параметров процесса обработки на разброс размеров в партии деталей (расхождение действительных размеров и теоретически рассчитанных значений не превышало 10-15%).

Для учета влияния различных факторов процесса обработки на количество переходов и режимы резания построена система ограничений, налагаемых условиями обработки и параметрами технологической системы: прочности и жесткости державки резца, прочности пластины твердого сплава, мощности привода главного движения, прочности механизма подач станка, шероховатости обработанной поверхности, полученных с помощью аналитических силовых зависимостей.

С учетом этих ограничений на основе метода динамического программирования разработан алгоритм определения оптимального

количества переходов, который предполагает направленный перебор всех возможных вариантов получения заданного качества детали из заданного качества заготовки (рис. I). При этом в качестве функции цели принято время цикла автоматической работы станка по программе, определяющее производительность процесса и оказывающее решающее влияние на технологическую себестоимость обработки. Таким образом, критерий оптимальности записывается следующим образом:

$$T_{\text{цик}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\pi \cdot D \cdot L}{V_i \cdot S_i} + \frac{L}{S_{\text{хол}}} \right) + T_{\text{см}} \rightarrow \min \quad (4)$$

где  $T_{\text{цик}}$  - время цикла автоматической работы станка по программе;

$D$  - диаметр обработки;

$L$  - длина обработки;

$S_i$  - подача на  $i$ -том переходе;

$V_i$  - скорость резания на  $i$ -том переходе;

$S_{\text{хол}}$  - подача холостого хода;  $n$  - количество переходов.

$T_{\text{см}}$  - время на автоматическую смену инструмента.

Каждый из вариантов обработки это граф, описывающий возможные промежуточные точки заготовки после каждого из переходов.

Машинное моделирование процесса формирования точности детали при одном, двух, трех и т.д. числе переходов в условиях выполнения операции на одном станке, одним и тем же инструментом показывают, что заданная точность обработки может быть получена, либо путем обработки на малых минутных подачах за один переход, либо путем (постепенного) многократного уточнения за несколько переходов, при этом на каждом из переходов используются более высокие минутные подачи и значение функции цели времени цикла автоматической работы станка по программе будет иным, чем за один переход (табл. I).

Таблица I

Получение I0 квалитета детали из I6 квалитета

заготовки

| Вариан-  | Уточ-      | Глуби-   | Подач-   | Ско-  | Часто-    | Время   | Время    |
|----------|------------|----------|----------|-------|-----------|---------|----------|
| ты обра- | нение      | на реза- | ча $S$ , | рость | та враще- | на пе-  | цикла    |
| ботки    | $\epsilon$ | ния      | мм/об    | реза- | ния $V$ , | переход | автомат. |
| I6-I0    | I6         | 3        | 0,05     | 231   | 1472      | 0,67    | 0,67     |
| I6-I4    | 2,58       | 1,8      | 0,5      | 155   | 1335      | 0,087   | 0,471    |
| I4-I0    | 6,2        | 0,8      | 0,1      | 258   | 1648      | 0,374   |          |
| I6-I4    | 2,58       | 1,8      | 0,5      | 155   | 1335      | 0,087   | 0,466    |
| I4-I2    | 2,4        | 1,0      | 0,38     | 202   | 1387      | 0,101   |          |
| I2-I0    | 2,5        | 0,5      | 0,17     | 252   | 1640      | 0,278   | 0,719    |
| I6-I4    | 2,58       | 2,8      | 0,5      | 155   | 1335      | 0,087   |          |
| I4-I3    | 1,58       | 1,3      | 0,42     | 221   | 1407      | 0,118   |          |
| I3-II    | 2,4        | 0,7      | 0,25     | 242   | 1540      | 0,14    |          |
| II-I0    | 1,6        | 0,38     | 0,19     | 298   | 1648      | 0,374   |          |

То есть при определенных условиях всегда можно найти оптимальное количество переходов, при которых значение функции цели будет минимальным.

Разработанная методика определения количества переходов проверялась на адекватность в условиях действующего производства, производилось сравнение времени затрачиваемого на обработку сейчас со временем рассчитанным по разработанной методике. Результаты показывают увеличение производительности обработки на 25...30% при использовании результатов работы.

Таким образом, методика расчета оптимального количества переходов и соответствующими режимами резания сводится к перебору всех возможных вариантов обработки при использовании максимально допустимых по точности и другим ограничениям минутным подачам.

### 3. РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕХОДОВ

При проектировании операции и назначении оптимального количества переходов следует учитывать технологических факторы, влияющие на коэффициент уточнения и на количество переходов.

Для определения степени влияния факторов был проведен машинный эксперимент с математическим моделированием зависимости количества переходов от различных факторов. Было установлено, что наибольшее влияние оказывают: жесткость технологической системы  $j$  т.е., отношение длины заготовки к ее диаметру  $l/D$ , геометрические параметры инструмента, интенсивность напряжений  $\sigma$  в деформируемом объеме металла, характеризующая сопротивление металла пластической деформации.

Варьирование вышеперечисленными факторами позволило установить точки равных времен, в которых время цикла автоматической работы станка по программе за "n"  $T_{\text{ца}}(n)$  и за "n+I" переходы  $T_{\text{ца}}(n+I)$  одинаково. Например, время трех и четырех переходной обработки будет одинаковым. Для нахождения этих точек, а следовательно, и определения условий, в которых будет производительнее, например, трехпереходная обработка, а в каких четырехпереходная (или другие варианты) был использован метод нахождения экстремума функции квадратичной интерполяции - экстраполяции.

В качестве примеров на графиках, представленных на рис.2,3 приведено влияние некоторых факторов на расчетное число уточняющих переходов.

Описанный выше метод позволяет получить множество точек равных времен, для их обобщения и математического описания был использован аппарат регрессионного анализа, который позволил получить степенные зависимости, описывающие данные точки:

$$DS = 1,725 \cdot (D)^{4,2242} \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^{4,2344} \cdot (JT)^{-0,91}$$

$$C_{i_1} = 53,27 (JT)^{1,8911} \quad (5)$$

$$C_{i_2} = 105,3 \cdot (JT)^{1,2441}$$

$$T_1 = 114,755 \cdot (JT)^{-0,934}$$

$$T_2 = 3044,5 \cdot (JT)^{-0,831},$$

где  $DS$  - параметр, характеризующий наибольший диаметр устанавливаемого изделия над станковой станиной;

$D$  - диаметр детали;

$L$  - длина детали;

$JT$  - квалитет детали;

$C_{i_1}, C_{i_2}$  - параметры, характеризующие интенсивность напряжений в движущемся объеме металла;

$T_1, T_2$  - параметры, характеризующие стойкость инструмента.

По этим и им подобным зависимостям в нормативах режимов резания были разработаны таблицы значений и поправочных коэффициентов численного влияния технологических факторов на количество переходов.

При изучении влияния главного угла в плане на количество переходов было выяснено, что в условиях "жесткой" технологической системы ( $\angle_D < 10^\circ, DS > 2D$ ) обработка деталей с минимальным

количеством переходов возможна при использовании резцы, имеющих углы в плане близкие к  $10\dots30^\circ$ . При обработке деталей в условиях "нежесткой" технологической системы ( $L \gg d, R_D \leq 2D$ ) количество переходов будет минимальным, если используются резцы, имеющие углы в плане близкие к  $90^\circ$ . Данные рекомендации получены на основе того, что в условиях "жесткой" технологической системы лимитирующим является ограничение по прочности механизма подач станка, наибольшее влияние на которое оказывает осевая составляющая силы резания  $P_x$  и как видно из модели (2) величина уточнения будет максимальной при малых углах в плане. В условиях "нежесткой" технологической системы лимитирующим является ограничение по точности обработки, наибольшее влияние на которое оказывает радиальная составляющая силы резания  $P_y$ , как видно из модели (2) величина уточнения будет максимальной при больших углах в плане.

Лабораторные эксперименты и производственные испытания показали справедливость разработанных математических моделей.

По результатам теоретических исследований и их практической проверки разработан алгоритм, который в зависимости от разных исходных данных позволяет определить оптимальное, с точки зрения максимальной производительности, количество переходов, математические зависимости (5) вошли в данный алгоритм в качестве численных ограничений.

Граф возможных вариантов получения заданного квалитета детали из заданного квалитета заготовки

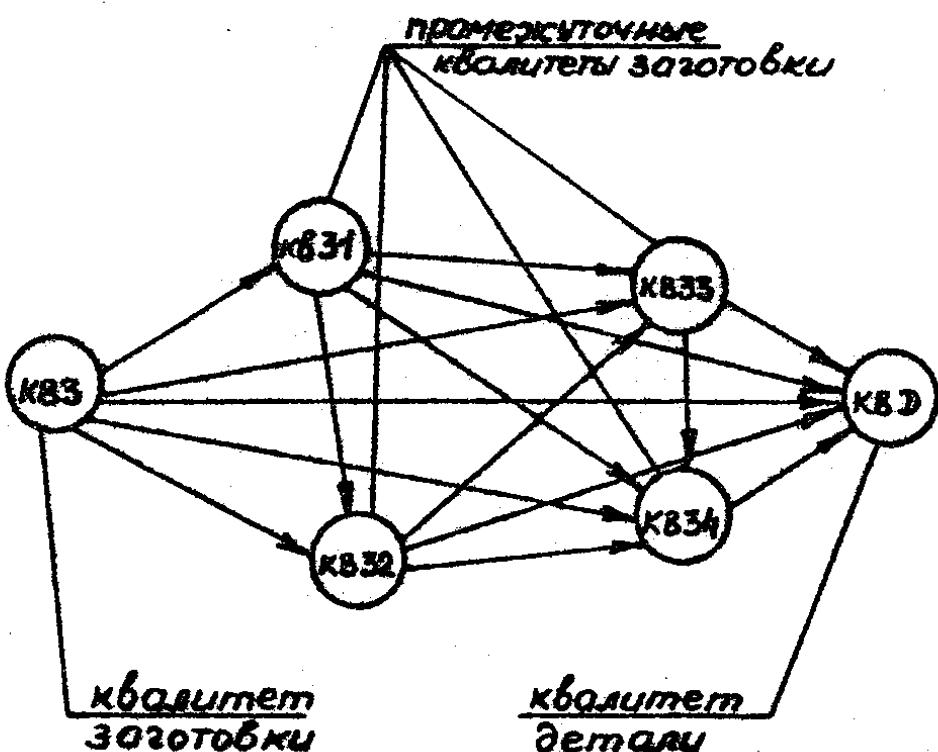


Рис. I

Влияние жесткости станка и его типоразмера на количество переходов

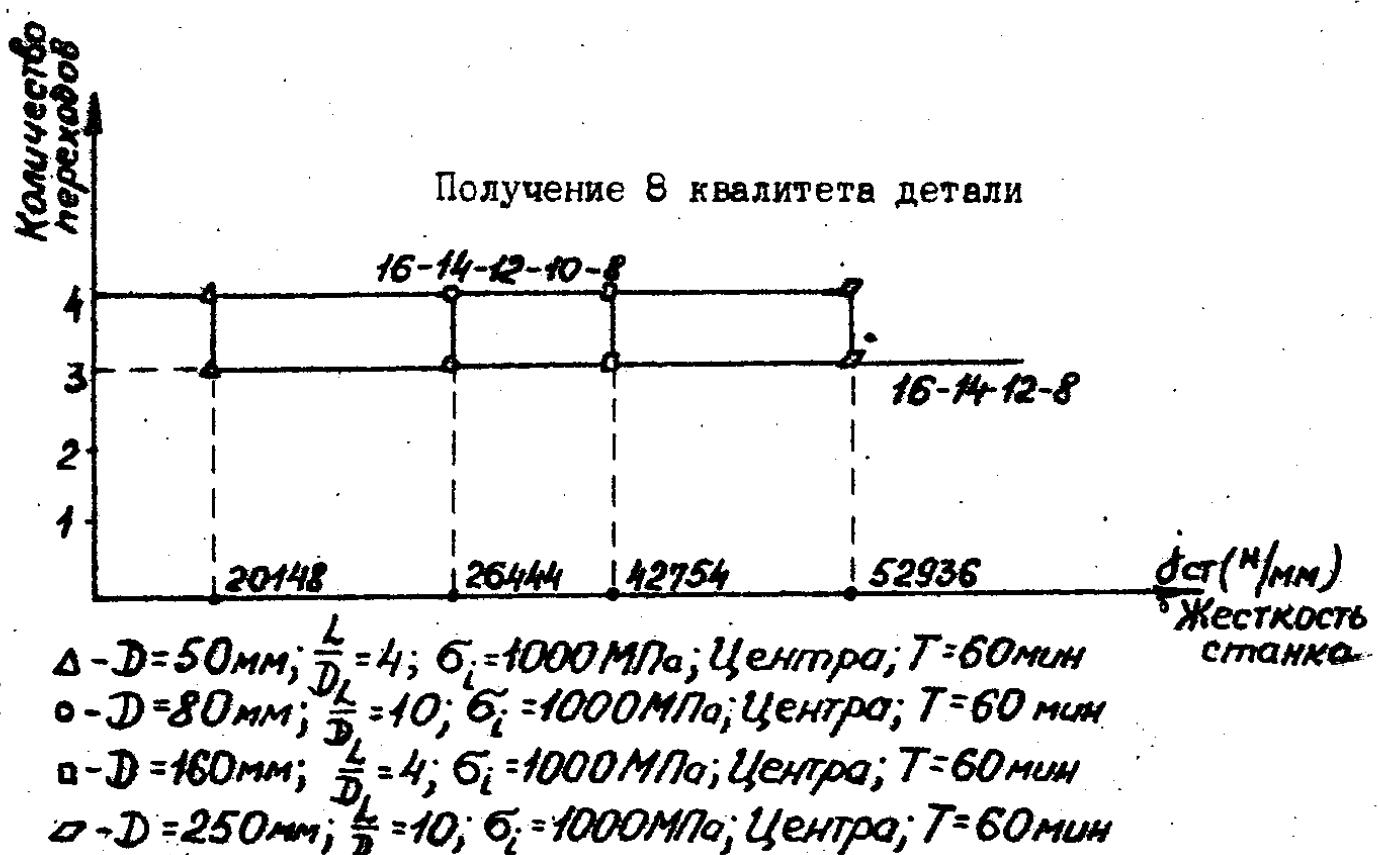


Рис.2

Влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на количество переходов. Получение 8 квалитета детали

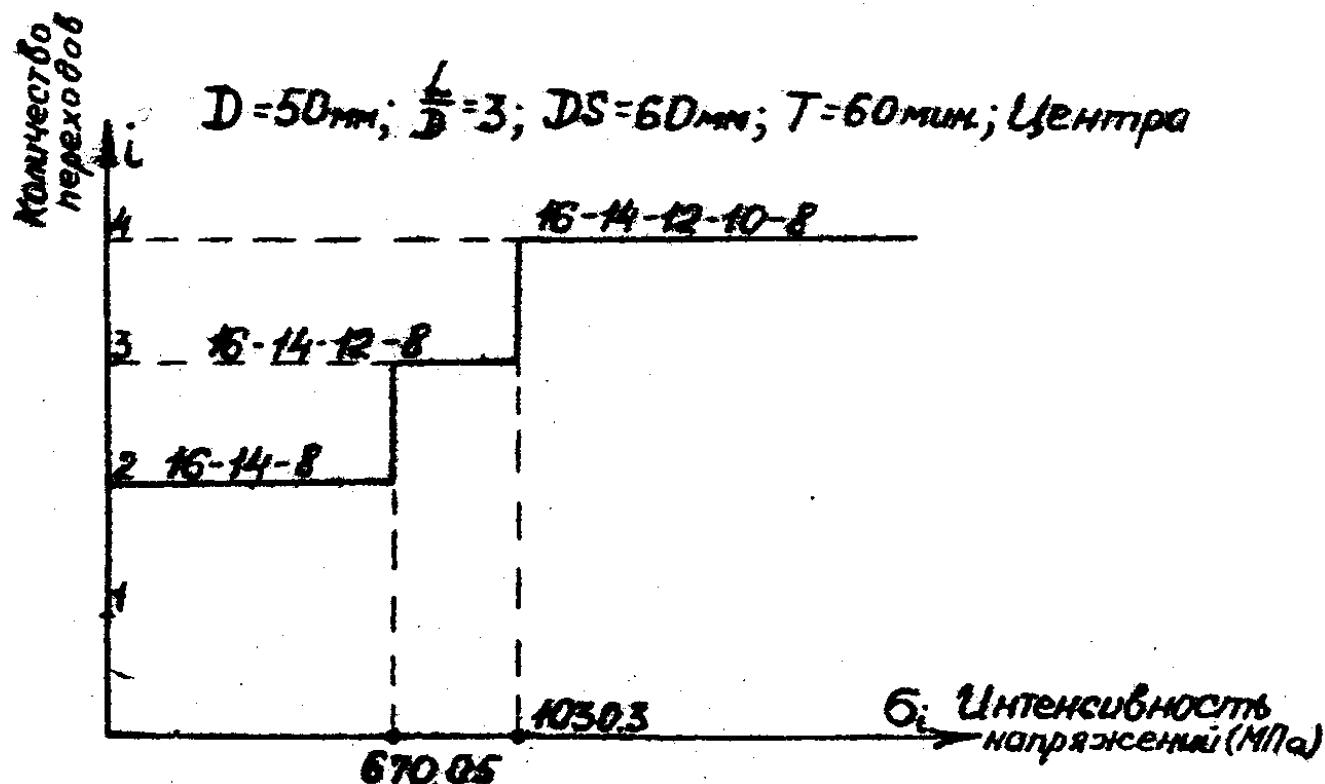


Рис.3

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В работе получены следующие основные выводы:

1. Разработана методика расчетного определения оптимального количества переходов, с указанием промежуточных квалитетов.
2. Получены численные ограничения на количество переходов, позволяющие для конкретных условий обработки определить оптимальное по критерию максимальной производительности количество переходов.
3. Разработана широкодиапазонная аналитическая модель точности, отражающая влияние на точность обработки погрешностей детали к заготовки, которая вместе с техническими ограничениями позволяет рассчитать режимы резания на каждый переход.

4. На основе полученных моделей разработаны практические рекомендации и нормативные карты по выбору количества переходов, глубин резания и подач в зависимости от точности обработки.

5. Результаты выполненных исследований внедрены в производство с общим экономическим эффектом 60,5 тысяч рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. С.Н. Корчак, В.И. Гузеев, А.А. Орлов и др. Разработка исходных данных по учету точностных параметров в нормативах режимов резания для токарных и фрезерных станков с ЧПУ. Отчет по хоз.теме 83/II3, гос.регистрация № 01840019208, 1987 г.

2. Орлов А.А. в соавт. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Часть II. - М., ЦБНТ, 1988 г. - 460 с.

3. Орлов А.А. Режимный блок САПР обработки деталей на токарных станках с ЧПУ. - В кн.: Пути повышения эффективности использования станков с ЧПУ и промышленных роботов: Тез. докл. науч.-техн. конф. (Свердловск, ноябрь, 1988 г.).

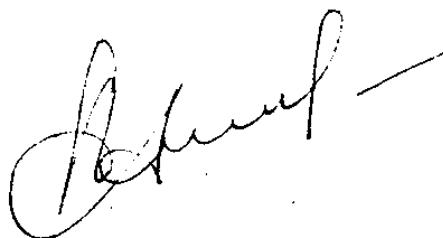
4. Орлов А.А. Особенности нормативно-справочной базы обработки на токарных станках с ЧПУ. - В кн.: Технологическое обеспечение станков с ЧПУ и гибких производственных систем: Тез. докл. науч.-техн. конф. (Челябинск, январь, 1988 г.), Челябинск; Б.И., 1988, с. 4.

5. Назначение режимов резания при точении и фрезеровании концевыми фрезами с учетом точности обработки, включая алгоритмическое оснащение микропроцессоров (С.Н. Корчак, В.И. Гузеев, В.А. Батуев, А.А. Орлов и др. - М.: ВНИИГЭМР, 1987. - 36 с.)

6. Орлов А.А. в соавт. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работы на металорежущих станках. Часть I. Токарные работы. I-ая редакция. - Москва, ЦБНТ, 1986 г., 340 с.

7. Разработка САПР технологических процессов на базе СМ и ЕС ЭВМ. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ: Отчет по НИР (заключит.)/Челяб.политехн.ин-т (ЧПИ): Руководитель С.Н. Корчак. - № ГР 01.85.0033689; ИНВ № 0288022657. - Челябинск, 1987 г., 103 с.

8. Гузеев В.И., Орлов А.А., Чиняев И.А. Автоматизированная диалоговая система расчета режимов резания для токарных станков: Инф. листок о науч.-техн. достиж. № 88-83. - Челябинск: Изд. Челяб. ЦНТИ, 1988. - 4 с.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Горбунов", is positioned above a horizontal line.