

5.02.08
Д 369

На правах рукописи

Дерябин Игорь Петрович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ КОНЦЕВЫМИ МЕРНЫМИ
ИНСТРУМЕНТАМИ

Специальность 05.02.03 - "Технология машиностроения"

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

Челябинск - 1996

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения, станки и инструмент" Златоустовского филиала Челябинского государственного технического университета.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
С.Г.Лакирев

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки и техники России,
доктор технических наук, профессор В.С.Мухин
(г. Уфа);
кандидат технических наук, доцент Ю.Г.Миков
(г. Миасс).

Ведущее предприятие - ПО машиностроительный завод "Булат",
г. Златоуст.

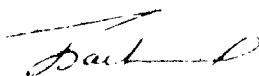
Защита состоится " 2 " июля 1996 г. в 13 часов,
на заседании специализированного совета Д 053.13.05 в Челябинском
государственном техническом университете по адресу:
454080, г.Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 76.

Просим Вас принять участие в заседании диссертационного совета
или прислать отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью учрежде-
ния, по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского
государственного технического университета.

Автореферат разослан " " мая 1996 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета -
доктор экономических наук,
профессор



И. А. Баев

Актуальность темы. В условиях научно-технического прогресса от машиностроительного производства требуется резкое расширение номенклатуры выпускаемой продукции, систематическое ее обновление, сокращение сроков пребывания изделий в производстве и возрастающие требования к техническому уровню и качеству. Это возможно только на основе совершенствования методов технологической подготовки производства (ТПП), в частности на основе современных математических методов и применения ЭВМ. Однако, эффективность существующих систем АСТПП, САПР ТП и др. весьма низка в связи с низкой надежностью размерно-точных прогнозов точности механической обработки.

Трудности обработки многих деталей машиностроения в значительной степени определяются сложностью обработки имеющихся в них отверстий с высокими требованиями к параметрам точности, например, гидрокоробки, гидро-, пневмоцилиндры и др. Наиболее часто на начальных операциях для обработки таких отверстий применяются двухлезвийные концевые мерные инструменты (КМИ), к числу которых относятся спиральные и перовые сверла, зенкеры и расточные пластины. Отсутствие четких рекомендаций по назначению основных конструкторско-технологических параметров на операциях обработки отверстий КМИ приводит к тому, что технологические маршруты обработки точных отверстий в два-три раза "длиннее" соответствующих маршрутов обработки наружных поверхностей, а точность обработки обеспечивается с большими затратами труда и времени. Математическое же моделирование процессов обработки отверстий находится в зачаточном состоянии. Поэтому при проектировании технологических процессов технологи чаще всего оперируют очень приближенными справочными оценками параметров точности, а уточнение параметров технологической системы (ТС) происходит на этапе производственных испытаний (натурной отладки) спроектированного технологического процесса, что иногда затягивается на многие месяцы и приводит к большим экономическим потерям. Возможность иметь количественный расчет параметров точности при проектировании, отладке и диагностике процессов обработки отверстий позволит целенаправленно назначать основные конструкторско-технологические параметры, исключить операционный брак, уменьшить длину технологических маршрутов и сократить затраты на ТПП за счет замены значительной части натурной отладки на компьютерную, когда не расходуется металл,

инструменты, энергия и др. Поэтому весьма актуальной задачей является разработка методики количественной оценки параметров точности при отладке и диагностике процессов обработки отверстий, которая позволит существенно повысить эффективность ТПП. Реализация же этой методики в системах автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) позволит значительно повысить эффективность этих систем.

Данная работа выполнена в соответствии с Научной программой "Технические университеты России".

Цель работы. Совершенствование методов ТПП на основе математического моделирования точности обработки отверстий двухлезвийными КМИ и создания компьютерной системы отладки и диагностики технологических операций.

Научная новизна. Установлено, что в процессе формообразования отверстий двухлезвийными КМИ на режущих лезвиях инструмента происходит разделение припуска на две части, при этом на увод оси и разбивку отверстия оказывают влияние разные зоны припуска, где режущие свойства лезвий резко отличаются. Разработана система математических моделей, в которой критерием выбора частных моделей является положение точки разделения припуска, представляющих собой уравнения с запаздывающим аргументом, описывающих формообразования отверстий двухлезвийными КМИ. Построенные на их основе компьютерные модели позволили: определить основные причины возникновения увода оси, разбивки и погрешности формы отверстий, обусловленные диссимметрией и осевыми биениями инструмента; получать количественную оценку параметров точности обработки отверстий.

Разработана методика компьютерной отладки и диагностики процессов обработки отверстий двухлезвийными КМИ, которая эффективно применяется в САПР ТП и в автономном режиме на различных этапах ТПП.

Практическая ценность.

1. Разработана методика расчета точности обработки отверстий двухлезвийными КМИ.

2. Разработаны рекомендации по назначению основных конструкторско-технологических параметров для достижения заданной точности обработки отверстий.

3. Разработана система компьютерной отладки и диагностики процессов обработки отверстий двухлезвийными КМИ, реализованная в виде пакета прикладных программ (ППП).

На защиту выносятся: система математических моделей расчета пара-

метров точности обработки отверстий двухлезвийными КМИ, включающая критерий выбора адекватной математической модели; рекомендации по назначению основных конструкторско-технологических параметров; методика компьютерной отладки и диагностики операций обработки отверстий двухлезвийными КМИ.

Реализация результатов работы. Основные результаты работы позволили эффективно проводить компьютерную отладку и диагностику реальных технологических процессов обработки отверстий как в качестве подсистемы САПР ТП, так и автономно, что обеспечило:

- повышение точности расположения оси отверстия (снижение увода), точности диаметрального размера (снижение разбивки) и погрешности поперечной формы (отклонение от круглости), что полностью исключило брак по этим параметрам;

- снижение затрат на этапе отладки, при поиске и анализе причин брака по точности обработки в действующих технологических процессах.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на региональной научно-практической конференции "Автоматизированное проектирование и машинное моделирование технологических процессов в машиностроении", г.Свердловск, 1987; на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Комплексная автоматизация проектно-конструкторских работ в машиностроении", г.Ленинград, 1988; на межреспубликанской научно-технической конференции "Проблемы автоматизации технологических процессов в машиностроении", г.Волгоград, 1989; на Всесоюзной научно-технической конференции "Итоги, проблемы и перспективы комплексно-автоматизированных производств в машиностроении и приборостроении", г.Горький, 1990; на I Всесоюзной школе-конференции "Математическое моделирование в машиностроении", г.Куйбышев, 1990; на республиканской научно-практической конференции "САПР конструкторской и технологической подготовки автоматизированного производства в машиностроении", г.Харьков, 1990; на научно-технических конференциях ЧТУ в 1986-1996 годах; на Всероссийской научно-технической конференции "Технологические проблемы производства летательных аппаратов и двигателей", г. Казань, 1995; на объединенном заседании технологических кафедр ЧТУ в 1996 г.

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений.

Содержание работы

Состояние вопроса, задачи исследования

Вопросы точности обработки отверстий концевыми мерными инструментами рассмотрены в работах Виноградова А.А., Денисенко В.И., Корчака С.Н., Капустина Н.М., Косиловой А.Г., Матвеева В.В., Мещерякова Р.К., Мирнова И.Я., Стрельца А.А., Подураева В.Н., Синельщикова А.К., Уткина Н.Ф., Холмогорцева В.П. и др. В них отмечалось влияние несимметрии инструмента на точность обработки отверстий, предлагались математические модели процессов обработки такими инструментами. Однако, приведенные ими модели в ряде случаев не могли объяснить причины и механизмы увода оси отверстий, погрешностей формы и размера. Поэтому получить количественную оценку точности обработки на стадии проектирования и отладки технологических процессов по ним практически невозможно.

Наиболее полно процесс формообразования отверстий описан в работах Лекирева С.Г., Хилькевича Я.М. и Козлова А.В., где приведены математические модели обработки отверстий КМИ. Исследование этих моделей позволило выявить и объяснить влияние осевых колебаний инструмента и погрешности заточки режущих лезвий на искривление оси и разбивку отверстия. Приведенные математические модели позволили определить лишь на качественном уровне влияние основных действующих факторов на параметры точности обработки отверстий. Вместе с тем в них недостаточно полно были рассмотрены схемы образования реальных срезаемых слоев при различных сочетаниях конструкторско-технологических параметров: подачи, осевого биения режущих лезвий и припуска. Также не были учтены изменения режущих свойств на различных участках лезвий таких инструментов, как спиральные и перовые сверла. Это не позволило создать методику расчета количественных оценок параметров точности, а именно, точности расположения оси, формы и диаметрального размера отверстий.

Исходя из цели настоящей работы необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать математические модели точности обработки отверстий двухлезвийными КМИ, учитывающие реальную геометрию и погрешности заточки режущих лезвий.

2. Провести компьютерное исследование математических моделей и разработать рекомендации по назначению основных конструкторско-технологических параметров.

3. Разработать методики количественной оценки параметров точности обработки при проектировании, отладке и диагностике процессов обработки отверстий двухлезвийными КМИ.

4. Разработать компьютерную систему отладки и диагностики процессов обработки отверстий двухлезвийными КМИ и реализовать ее в виде пакета прикладных программ (ППП) для использования в САПР ТП и автономном режиме.

Математические модели расчета точности обработки отверстий двухлезвийными КМИ

Рассмотрим процесс формообразования отверстий двухлезвийными КМИ с различными режущими свойствами лезвий (рис.1). Эти различия в основном зависят от погрешности заточки инструмента, приводящей к осевому сдвигу лезвий τ (можно принять равным осевому биению режущих кромок инструмента) и неравенству главных углов в плане φ (φ_1 и φ_2).

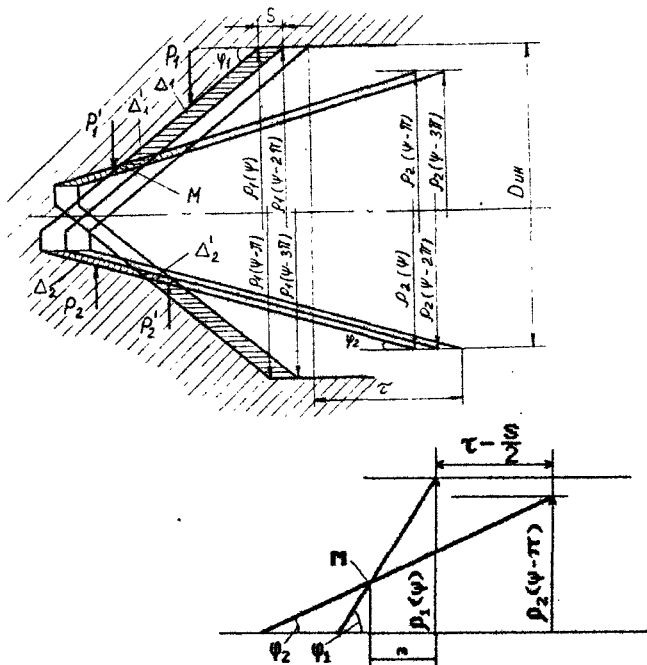


Рис. 1. Основная расчетная схема

Положение вершины каждого режущего лезвия в любой момент времени может быть описано текущими радиус-векторами $\rho_1(\Phi)$ и $\rho_2(\Phi)$, где Φ - текущий угол поворота инструмента от начала обработки. При движении инструмента с подачей S каждое лезвие срезает по своему следу площади среза Δ_1 и Δ_2 , и кроме того срезает часть площадей среза Δ'_1 и Δ'_2 от следа другого лезвия. Таким образом образуются различные зоны срезаания припуска, оказывающих разное влияние на параметры точности. Разделение срезаемых слоев происходит в точке M , положение которой относительно режущих лезвий инструмента определяется соотношением (1):

$$M = \frac{(\tau - \frac{S}{2}) \cdot \operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2} \quad (1)$$

С учетом колебаний подачи из-за осевых биений шпинделя станка и резкого изменения геометрии на различных участках режущих лезвий таких инструментов, как спиральные сверла, приводящей к резкому изменению режущих свойств на этих участках, разные части припуска оказывают разное влияние на параметры точности. Как показали исследования, на увод оси отверстия наибольшее влияние оказывают участки Δ_1 и Δ_2 , а на разбивку отверстия - Δ_1 и Δ_2 .

Модель движения двухлезвийного КМИ описывается системой (2):

$$\begin{cases} \rho_1(\Phi) + \rho_2(\Phi) = D \\ |(P_1 + P'_1) - (P_2 + P'_2)| = |\rho_1(\Phi) - \frac{D}{2}| \cdot j, \quad \text{где} \end{cases} \quad (2)$$

$\rho_1(\Phi)$ и $\rho_2(\Phi)$ - радиус-векторы соответственно первого и второго лезвий;

Φ - текущий угол поворота инструмента вокруг своей оси;

D - диаметр инструмента;

P_1, P'_1, P_2 и P'_2 - радиальные силы резания на первом и втором лезвиях

j - жесткость инструмента.

Примем упрощенно, что силы P_1, P_2, P'_1 и P'_2 пропорциональны площадям срезаемых слоев соответственно $\Delta_1, \Delta_2, \Delta'_1$ и Δ'_2 с соответствующими коэффициентами пропорциональности K_1 , в дальнейшем коэффициентами резания:

$$P_{y1} = K_1 \cdot \Delta_1, \quad (3)$$

где K_1 - поправочный коэффициент и зависит от фактических параметров процесса: углов в плане φ (K_φ), передних углов γ (K_γ), угла наклона главной режущей кромки λ (K_λ), радиуса при вершине r (K_r), материала детали и др.

Приближенно считая форму срезаемого слоя параллелограммом, площади Δ_1 вычисляем как:

$$\Delta_1 = A_1 \cdot h_1,$$

где h_1 - высота срезаемого слоя,

A_1 - основание срезаемого слоя.

В рамках этой модели, в зависимости от вида диссимметрии инструмента, малого или большого осевого сдвига вершин лезвий, разности углов в плане, величины подачи и т.д., и, соответственно от вида срезаемого каждым лезвием сечения, точка M может лежать:

1) на режущем лезвии, т.е. при $0 \leq M \leq L_x$ (где $L_x = \frac{D - D_0}{2 \cdot \operatorname{tg} \phi}$ - проекция длины режущей части лезвия на ось инструмента, D_0 - диаметр предварительно обработанного отверстия, при сверлении в сплошном металле - диаметр образуемый перемычкой сверла);

2) сзади режущего, т.е. при $M < 0$, это возможно при $\tau < \frac{\alpha}{2}$;

3) впереди режущего лезвия, т.е. при $M > L_x$, это возможно при очень малых подачах и очень больших τ (более 1 мм).

В зависимости от положения точки M и вида обработки (в сплошном металле или по предварительно обработанному отверстию), определив конкретные площади срезаемых слоев Δ_1 и коэффициенты резания K_1 на соответствующих участках режущих лезвий, можно получить конкретные частные модели (табл. I).

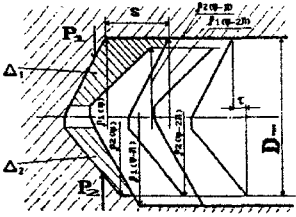
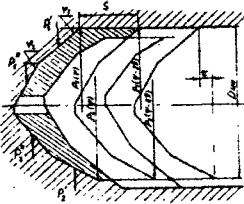
Полученные математические модели позволяют рассчитывать в компьютерном режиме точность обработки отверстий при сверлении, рассверливании, зенкеровании и растачивании расточными блоками.

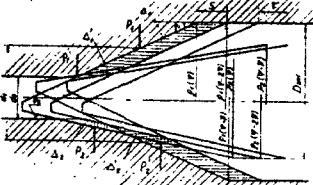
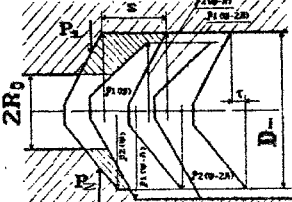
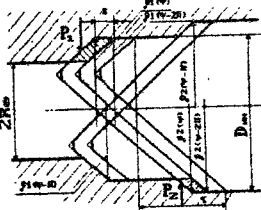
Компьютерные исследование влияния основных конструкторско-технологических факторов на точность обработки отверстий

Исследование влияния основных конструкторско-технологических факторов на параметры точности обработки отверстий проводилось с помощью вычислительных экспериментов. Для исследований была разработана компьютерная методика расчета параметров точности, основные этапы которой показаны на рис.2.

Этап I. Ввод исходных данных о материале детали и режущей части инструмента; геометрии, погрешности заточки и размерах инструмента; об условиях обработки (осевая подача, точность оборудования, размеры и погрешность заготовки и др.).

Этап 2. Расчет положения точки M (рис. I), выбор математической

N	Область применения модели	Расчетная схема и математическая модель
1	<p>Do = 0 $0 \leq M \leq L_x$ Сверление отверстий спиральными и перовыми сверлами в сплошном металле с относительно малыми подачами при $S \leq 2\tau$</p> <p>Модель 1</p>	<p>Расчетная схема - рис. I, Модель I</p> $\rho(\Phi) = \frac{A + S \cdot 2 \cdot 0_{0s} \cdot \cos(n\Phi) \cdot (K_2 - K_1)}{C} + \frac{B}{C} \cdot \rho(\Phi - \pi),$ <p>где $A = \tau \cdot S \cdot (K_2 + K_1) + \frac{S^2}{2} \cdot (K_2 - K_1) - D \cdot (S \cdot K_2 \cdot \text{ctg}\varphi_1 + S \cdot K_1 \cdot \text{ctg}\varphi_2 - \frac{\text{ctg}\varphi_1 - \text{ctg}\varphi_2}{2}) + (1n + \tau) \cdot (\frac{\text{ctg}\varphi_1}{\text{ctg}\varphi_2} - 1) \cdot K_2 \cdot S,$</p> $B = S \cdot (K_1 \cdot \text{ctg}\varphi_2 + K_2 \cdot \text{ctg}\varphi_1),$ $C = S \cdot (-K_2 \cdot \text{ctg}\varphi_1 - K_1 \cdot \text{ctg}\varphi_2) + J \cdot (\text{ctg}\varphi_1 - \text{ctg}\varphi_2),$
2	<p>Do < 0 Сверление отверстий спиральными и перовыми сверлами в сплошном металле с относительно большими подачами $S > 2\tau$</p> <p>Модель 2</p>	 $\rho(\Phi) = \frac{A + 2 \cdot h \cdot 0_{0s} \cdot (K_2 - K_1) \cdot \cos(\Phi n)}{C} - \frac{B \cdot \rho(\Phi - \pi)}{C},$ $A = h \cdot \frac{S}{2} \cdot (K_2 - K_1) + h \cdot \tau \cdot (K_2 + K_1) + \frac{D \cdot h \cdot (K_2 + K_1)}{\text{tg}\varphi} + \frac{D \cdot J}{2};$ $B = \frac{h \cdot (K_2 + K_1)}{\text{tg}\varphi}; \quad C = J + \frac{h \cdot (K_2 + K_1)}{\text{tg}\varphi}; \quad h = \frac{D - D_0}{2}$
3	<p>Do = 0 Сверление отверстий в сплошном металле спиральными и перовыми сверлами с двойной заточкой угла при вершине 2φ</p> <p>Модель 3</p>	 $\rho(\Phi) = \frac{A + 2 \cdot 0_{0s} \cdot \cos(n\Phi) \cdot (h_1 \cdot (K_2 - K_1) + h_2 \cdot (K_2 - K_1))}{C} - \frac{B}{C} \cdot \rho(\Phi - \pi),$ <p>где $C = J + \frac{h_1}{\text{tg}\varphi_1} \cdot (K_2 + K_1) + \frac{h_2}{\text{tg}\varphi_2} \cdot (K_2 + K_1)$</p> $A = h_1 \cdot \frac{S}{2} \cdot (K_2 - K_1) + h_2 \cdot \frac{S}{2} \cdot (K_2 - K_1) + h_1 \cdot \tau \cdot (K_2 + K_1) + h_2 \cdot \tau \cdot (K_2 + K_1) + \frac{D}{\text{tg}\varphi_1} \cdot h_1 \cdot (K_2 + K_1) + \frac{D}{\text{tg}\varphi_2} \cdot h_2 \cdot (K_2 + K_1) + \frac{D}{2} \cdot J;$ $B = \frac{h_1}{\text{tg}\varphi_1} \cdot (K_2 + K_1) + \frac{h_2}{\text{tg}\varphi_2} \cdot (K_2 + K_1)$

<p>4</p>	<p>$0 \leq M \leq L_k$ $D_o \neq 0$ Рассверление, зенкерование, растачивание блоками при относительно малых подачах $S \leq 2 \cdot \tau$ Модель 4</p>	 $\rho(\Phi) = \frac{A + 2 \cdot S \cdot 0_s \cdot \cos(n \cdot \Phi) \cdot (K_2 - K_1) - K_2 \cdot h \cdot S}{C} + \frac{B \cdot \rho(\Phi - \pi)}{C}$ $A = \tau \cdot S \cdot (K_2 + K_1) + S^2 / 2 \cdot (K_2 - K_1) + D \cdot (-S \cdot \text{ctg} \varphi_2 \cdot (K_2 + K_1) + J \cdot \frac{\text{ctg} \varphi_1 - \text{ctg} \varphi_2}{2})$ $B = S \cdot (\text{ctg} \varphi_2 \cdot K_1 + K_2 \cdot \text{ctg} \varphi_1)$ $C = J \cdot (\text{ctg} \varphi_1 - \text{ctg} \varphi_2) - S \cdot \text{ctg} \varphi_2 \cdot (K_2 + K_1); h = \frac{D - D_o}{2}$
<p>5</p>	<p>$M < 0$ $D_o \neq 0$ Рассверление, зенкерование, растачивание блоками при относительно больших пода- чих $S > 2 \cdot \tau$ Модель 5</p>	 $R(\Phi) = -\frac{R(\Phi - \pi) \cdot B}{A} + \frac{C}{A}$ $A = J + (K_1 + K_2) \cdot S_o + \tau \cdot (K_1 - K_2) + \frac{h}{\text{tg} \varphi} \cdot (K_2 + K_1)$ $B = \frac{h \cdot (K_2 + K_1)}{\text{tg} \varphi} \quad C = h \cdot (S_o \cdot (K_2 - K_1) - \tau \cdot (K_2 + K_1))$
<p>6</p>	<p>$M > L_k$ $D_o \neq 0$ Рассверление, зенкерование, растачивание блоками при больших $\tau > \frac{S}{2}$ и малых припус- ках h Модель 6</p>	 $\rho(\Phi) = -\rho(\Phi - m \cdot \pi) \cdot B - A, \text{ где } B = \frac{K_2 \cdot S}{S \cdot (R_2 + R_1) + J}$ $A = \frac{K_1 \cdot S \cdot h(\Phi)}{K_2 \cdot S + K_1 \cdot S + J} \quad m = \frac{2 \cdot \tau}{S} - \text{ближайшее нечетное число}$

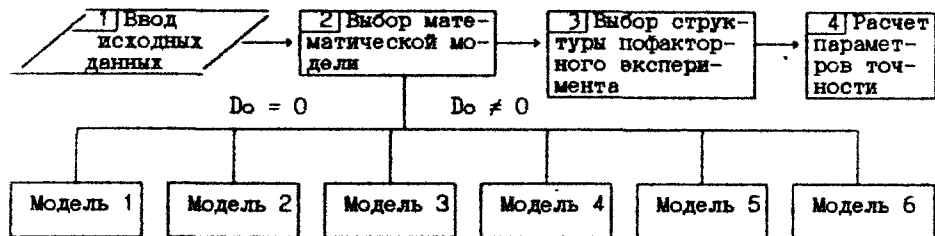


Рис. 2. Основные этапы компьютерной методики расчета параметров точности

модели по табл.1 и расчет усредненных коэффициентов резания на различных участках режущих лезвий.

Этап 3. Положение инструмента в любой момент времени определяется как текущим положением радиус-вектора вершины лезвия $\rho(\Psi)$, так и предыдущим $\rho(\Psi-\pi)$, поэтому для определения профиля получаемого отверстия в поперечном и продольном сечениях, значения $\rho(\Psi)$ и $\rho(\Psi-\pi)$ рассчитываются через равные углы $\Delta\Psi$ поворота инструмента, например через $\Delta\Psi=5^\circ$. Поскольку в процессе обработки отверстия происходит накопление погрешностей, определяющих параметры точности, то расчет параметров точности производится на последнем обороте инструмента. При этом положение радиус-вектора $\rho(\Psi)$ определяется суммарным действием причин, приводящих к уводу оси, погрешности формы и диаметра отверстия, что значительно затрудняет обработку результатов экспериментов обычными способами (построение вписанных окружностей, использование датчика случайных чисел и др.). Поэтому для определения отдельных параметров точности, в связи с проведением экспериментов на ЭВМ, наиболее простым способом является создание разных условий проведения вычислительных экспериментов для каждого параметра точности, т.е. разных сценариев факторного эксперимента, определяющих структуру вычислений. На рис.3 показан обобщенный сценарий таких экспериментов. В зависимости от вида математической модели (табл.1), параметров заготовки и др. разработаны частные сценарии (табл.2) для расчета отдельных параметров точности обработки отверстий.

Этап 4. Расчет отдельных параметров точности производится в соответствии с выбранным сценарием (табл.2). При этом каждый этап сценария (рис.3) выполняется при задании различных начальных значений определенным параметрам (табл.3), расчет соответствующей составляющей

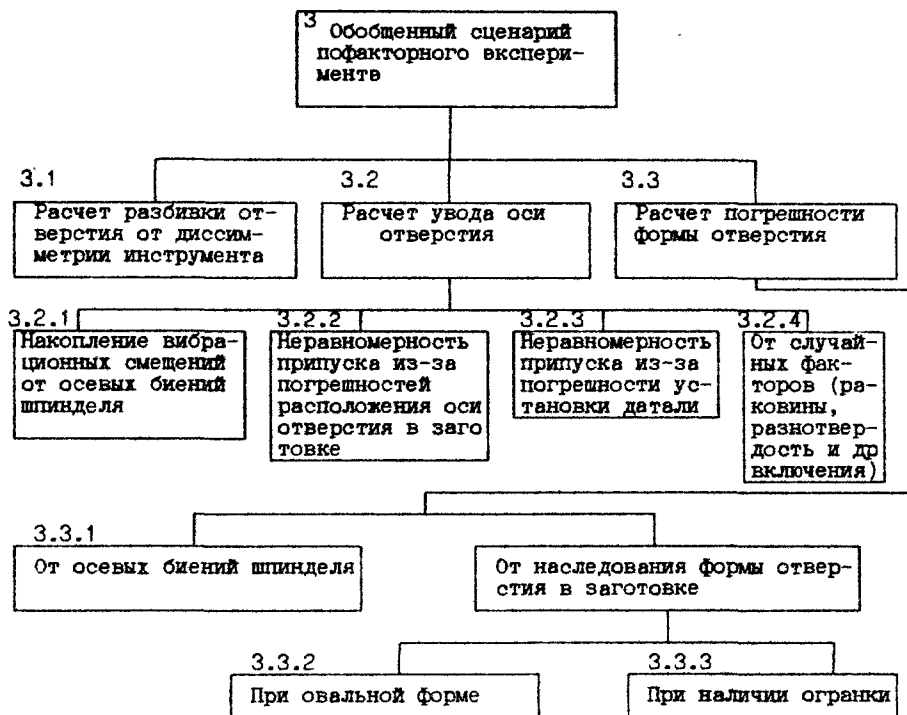


Рис.3. Структура обобщенного сценария пофакторного эксперимента

Таблица 2

Тип сценария	Условия применения	Последовательность выполнения этапов (рис.4)
1	Модели 1,2,3	3.1 - 3.2.1 - 3.2.4 - 3.3.1
2	Модели 4,5,6; отверстие в заготовке овальное	3.1 - 3.2.1 - 3.2.2 - 3.2.3 - 3.3.1 - 3.3.2
3	Модели 4,5,6; отверстие в заготовке - огранка	3.1 - 3.2.1 - 3.2.2 - 3.2.3 - 3.3.1 - 3.3.3
4	Модели 4,5,6; форма отверстия в заготовке неизвестна	3.1. - 3.2.1 - 3.2.2 - 3.2.3 - 3.3.1 - 3.3.2 - 3.3.3

Таблица 3

Этап расчета	Начальные условия	Расчет погрешности
3.1. - расчет разбивки отверстия	$O_s = 0; h = \text{const}$	$\Delta D = \frac{\max(\rho(\Phi) + \rho(\Phi - \pi)) - D_n}{2}$ D_n - номинальный диаметр инструмента
3.2.1 - расчет увода оси от осевых вибраций	$O_s = O_{s_0}; h = \text{const};$ $n = 1$	$\Delta Y_1 = \frac{\max(\rho(\Phi) - \rho(\Phi - \pi))}{2}$
3.2.2 - расчет увода оси от погрешности расположения оси обрабатываемого отверстия	$O_s = 0; h = h_0 + e_{\text{шт}} \cdot \sin(\Phi)$ $e_{\text{шт}}$ - погрешность расположения оси обрабатываемого отверстия	$\Delta Y_2 = \frac{\max(\rho(\Phi) - \rho(\Phi - \pi))}{2}$
3.2.3 - расчет увода оси от погрешности установки детали	$O_s = 0; h = h_0 + e_y \cdot \sin(\Phi)$ e_y - погрешность установки детали	$\Delta Y_3 = \frac{\max(\rho(\Phi) - \rho(\Phi - \pi))}{2}$
3.2.4 - расчет увода оси от случайных факторов	$J = 0$	$\Delta Y_3 = \dots - \Delta Y_3'$ $\Delta Y_4 = K_{\text{II}} \cdot \sqrt{\frac{L_0}{T}} \cdot K_y$
3.3.1 - расчет погрешности формы от осевых вибраций	$h = \text{const};$ а) $n=3; O_s = \frac{1}{9} O_{s_0};$ б) $n=5; O_s = \frac{1}{25} O_{s_0};$ и т.д.	$\Delta \Phi_{\text{B1}} = \rho(\Phi)_{\max} - \rho(\Phi)_{\min}$
3.3. - расчет погрешности формы от наследования:	$O_s = 0;$ $h = h_0 + \frac{\delta D_0}{2} \cdot \frac{1}{2\pi^2} \cdot \sin(n\Phi)$	$\Delta \Phi_{\text{H1}} = \rho(\Phi)_{\max} - \rho(\Phi)_{\min}$
3.3.2. овальности	$n = 2$	
3.3.3. огранки	$n = 3, 4, 5$	

погрешности обработки производится по разработанным формулам, указанным в табл.3.

Суммарный увод оси отверстия при расчете на максимум-минимум: $\Delta Y = \Delta Y_1 + \Delta Y_2 + \Delta Y_3 + \Delta Y_4$. Суммарная погрешность формы (отклонение от круглости) складывается из суммирования погрешностей от осевых колебаний инструмента по нечетным членам ряда Фурье при $n > 1$, поскольку при $n=1$ определяется увод оси, и суммирования погрешностей наследования от неравномерности припуска по всем членам ряда Фурье (также при $n > 1$):

$$\Delta \Phi = \sum_{i=3,5,7} \Delta \Phi_{\text{B1}} + \sum_{i=2,3,4,5} \Delta \Phi_{\text{H1}}$$

Компьютерные эксперименты по приведенной выше методике (рис.2) проводились путем варьирования следующих основных параметров ТС: осевой подачи S , амплитуды осевых биений шпинделя O_z , величины главных углов в плане φ (углов при вершине 2φ для сверл), разности заточки углов $\varphi - \Delta\varphi$, осевых биений режущих кромок τ , жесткости инструмента J , припуска h , материалов детали и режущей части инструмента, неравномерности припуска и др. Для экспериментов были выбраны стандартные инструменты со стандартными параметрами: спиральные и перовые сверла, двухлезвийные зенкеры, расточные жесткозакрепленные пластины и плавающие блоки.

В результате получены графики влияния различных параметров ТС на точность обработки отверстий. Примеры этих графиков приведены на рис.4 и рис.5. По результатам компьютерных экспериментов были сделаны выводы о степени влияния различных параметров ТС на точность обработки отверстий двухлезвийными КМИ. Некоторые новые рекомендации повышения точности обработки приведены в табл.4.

Таблица 4

Точность расположения оси	Точность диаметрального размера
<p>1. Снизить подачу, если $S \leq 2\tau$ (Модели 1 и 4), или повысить подачу, если $S > 2\tau$ (Модели 2 и 5).</p> <p>2. Уменьшить угол φ (все модели).</p> <p>3. Снизить осевые биения шпинделя (все модели).</p>	<p>1. Увеличить подачу (все модели).</p> <p>2. Увеличить угол φ, если $S \leq 2\tau$ (Модели 1 и 4), или уменьшить угол φ, если $S > 2\tau$ (Модели 2,5)</p> <p>3. Обеспечить разницу заточки углов $\varphi - \Delta\varphi = (2^\circ + 3^\circ)$ (все модели).</p> <p>4. Уменьшить осевые биения режущих кромок инструмента τ, если $S > 2\tau$ (Модели 2 и 5)</p>

В результате компьютерного моделирования выяснилось, что увод оси отверстия на 90% определяется накоплением вибрационного смещения от осевых вибраций шпинделя станка, причем максимальная интенсивность увода наблюдается при достаточно большей по сравнению с осевым сдвигом режущих лезвий τ подачи S , когда идет полное взаимное срезание поверхностей резания режущими лезвиями инструмента (Модели 2 и 5 табл.1), при этом интенсивность увода пропорциональна произведению амплитуды осевых колебаний O_z на величину припуска, а количество

вибрационных смещений $N=L_0/S$ обратно пропорционально подаче S . Поэтому с увеличением подачи увод уменьшается (рис. 4а). Немного меньшая интенсивность увода наблюдается когда поверхности резания при под-резании взаимно пересекаются, т.е. при положении точки M на режущем

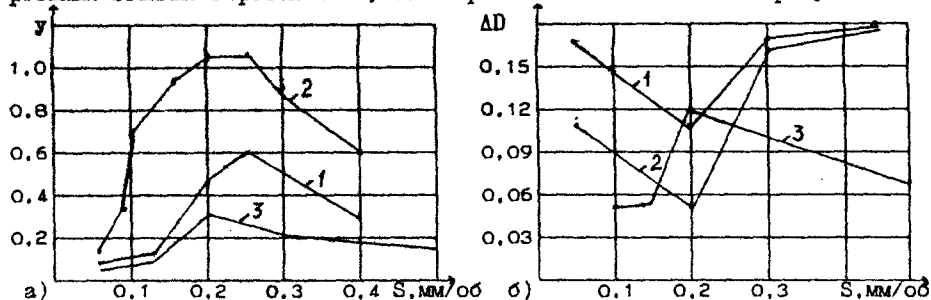


Рис. 4. Влияние на увод оси Y и разбивку ΔD отверстия:
а), б) подачи S ; в), г) угла в плане ϕ

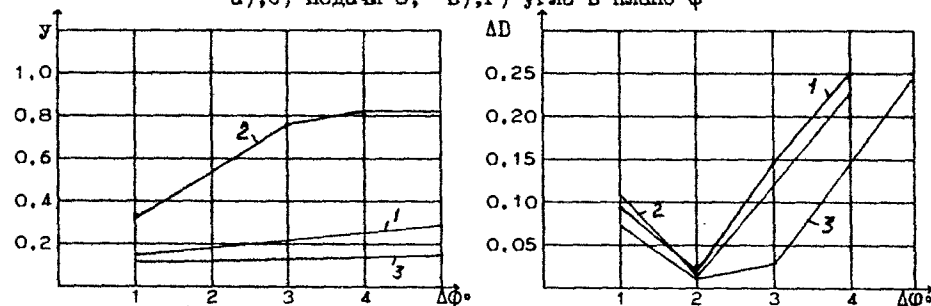


Рис. 5. Влияние на увод оси Y и разбивку ΔD отверстия
разности заточки углов ϕ ;

На графиках: 1 - спиральное сверло ϕ 9 мм; 2 - сверло перовое ϕ 9 мм;
3 - зенкер ϕ 10 мм

лезвия $0 < M < Lx$ (Модели I и 4 табл. I). При этом интенсивность увода пропорциональна квадрату амплитуды осевых колебаний O_z , что является существенно меньшей величиной, поэтому увод в основном зависит от ширины срезаемого слоя и при снижении подачи увод уменьшается. Учитывая реальные значения подач, применяемых в производственных условиях, рекомендуется для выполнения соотношения $0 < M < Lx$ (или $S \leq 2t$) увеличивать осевое биение режущих кромок t инструмента, что можно достигнуть разностью заточки главных углов в плане $\Delta\phi$ более 2° .

Некоторые известные на качественном уровне выводы нашли свое количественное уточнение. Так, у ряда исследователей отмечается, что причиной увода оси отверстия может быть (хотя механизм этого не объяснен) неравенство главных углов в плане режущих лезвий, другие же указывают, что подобный вид диссимметрии влияет лишь на разбивку. Компьютерными экспериментами установлено, что наименьшая разбивка наблюдается при $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = 2^\circ + 3^\circ$. Проведенные компьютерные исследования дали достоверный количественный анализ причин погрешностей обработки, что позволяет уверенно наметить пути и методы их устранения.

Методика компьютерной отладки и диагностики

Разработанные компьютерные модели расчета точности и полученные в результате проведения вычислительных экспериментов рекомендации по повышению точности позволили разработать компьютерную систему отладки и диагностики технологических операций обработки отверстий двухлезвийными КМИ. Эта методика, структура которой показана на рис. 6, предусматривает выполнение в компьютерном режиме следующих этапов:

1 - ввод исходных данных (см. этап I рис. 2)

2 - выбор компьютерной модели расчета параметров точности. Сначала рассчитывается положение на режущих лезвиях точки M. В зависимости от положения точки M и наличия отверстия в заготовке ($D_0 = 0$ или $D_0 \neq 0$) выбирается соответствующая компьютерная модель (табл. I).

После выбора модели рассчитываются коэффициенты K_1 .

3 - расчет параметров точности (см. этап 4 рис. 2).

4 - вывод результатов моделирования, сравнение расчетных параметров точности с заданными значениями. При несовпадении каких-либо параметров в режиме отладки на экран дисплея (рис. 7) выдаются причины данной погрешности и даются рекомендации по их устранению или снижению, после чего необходимо внести коррективы в некоторые исходные данные.

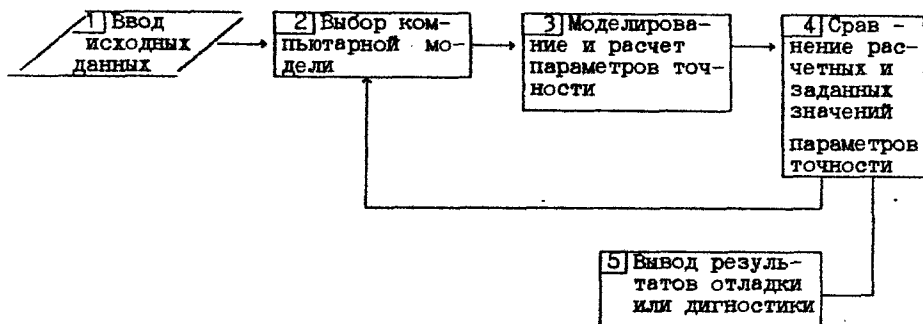


Рис. 6. Структура методики компьютерной отладки и диагностики

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА		
	Расчетные значения	Допускаемые значения
Увод оси, мм	0.686	0.5
Отклонение от круглости, мм	0.063	0.12
Разбивка отверстия, мм	0.218	
Максимальный диаметр, мм	20.238	20.30
Минимальный диаметр, мм	20.007	20.00

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УМЕНЬШЕНИЮ УВОДА:

- Уменьшить главный угол в плане
- Уменьшить осевое биение шпинделя
- Уменьшить подачу
- Уменьшить вылет инструмента

	Исходные данные	Новые данные
Гл. угол	59	50
Ос. биен. шп.	0.1	0.05
Подача	0.36	0.2
Вылет инстр.	100	100

Рис. 7. Вывод результатов моделирования и корректировка исходных данных (отладка)

5 - вывод результатов отладки, где указаны конкретные численные значения параметров ТС при которых обеспечивается заданная точность обработки. В режиме отладки системой пользуются при проектировании технологических процессов. Режим диагностики возникает когда на этапе натурной отладки в действующем технологическом процессе выявлен брак по каким-то параметрам точности. В этом случае возможно несо-

падение каких-то технологических параметров, заданных в процессе компьютерной отладки, с реальными параметрами в действующем технологическом процессе. Система компьютерной диагностики определяет причины брака и выдает задание на измерение истинных значений конструкторско-технологических параметров и их подналадку (рис.8).

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ

	Расчетные значения	Допускаемые значения
Максимальный диаметр	22.576	22.600
Минимальный диаметр	22.344	22.200
Увод	0.235	0.200
Отклонение от круглости	0.087	0.200
Разбивка отверстия	0.211	

КАКИЕ РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ СООТВЕТСТВУЮТ ИЗМЕРЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ?

Максимальный диаметр	ДА	НЕТ
Минимальный диаметр	ДА	НЕТ
Увод	ДА	НЕТ
Отклонение от круглости	ДА	НЕТ
Разбивка отверстия	ДА	НЕТ

Причинами расхождения расчетных и действительных значений точности обработки является несоответствие между действительными и заданными значениями:

Главного угла в плане	59	град
Допуска главного угла в плане	3	град
Осевых колебаний шпинделя	0.05	мм
Осевых биений инструмента	0.1	мм
Вылета инструмента	120	мм
Подачи	0.35	мм/об

Необходимо замерить эти величины и ввести их истинное значение.

Рис.8. Результаты компьютерной диагностики

Методика компьютерной отладки и диагностики процессов обработки отверстий двухлезвийными КМД реализована в виде пакета прикладных программ (ППП), который может быть реализован в качестве подсистемы САПР ТП, либо же в автономном режиме технологами при проектировании технологических процессов и при анализе и поиске причин брака действующего технологического процесса.

Пример. При обработке отверстий $\varnothing 20^{+0,34}$ мм длиной 185 мм в детали "Корпус гидрораспределителя" на операциях сверления обнаружен

увод оси отведения в пределах 0,9-1,2 мм, что вызвало необходимость введения двух дополнительных переходов. Была проведена компьютерная диагностика в автономном режиме работы ППП, в качестве исходных данных введены те, что заложены технологом. В результате компьютерного моделирования на ЭВМ было получено значение увода 0,28 мм, и рекомендации по уточнению истинных значений параметров ТС (рис.9). После измерения реальных значений выяснилось, что осевые биения шпинделя достигают 0,2 мм, вместо рекомендованных 0,05 - 0,10; разность заточки углов ϕ достигает 4° - 5° и т.д. Ввод реальных значений и моделирование на ЭВМ дали значение увода 0,92 мм, что соответствует практике. После проведения компьютерной отладки были выполнены рекомендации: подача снижена до $S = 0,2 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$, осевые биения шпинделя до 0,05 мм, что позволило уменьшить увод оси отверстия до 0,18 мм и получить конкретные численные значения параметров ТС, в итоге маршрут обработки отверстий сократился на I переход.

Использование приведенной выше методики позволило выполнять компьютерную отладку и диагностику проектируемых и действующих технологических процессов как в качестве автономной системы, так и в качестве подсистемы САПР ТП на П/О "БУЛАТ" г.Златоуст, П/О "УРАЛТРАК" г.Челябинск, П/О "ЗМЗ" г. Златоуст. В результате был получен экономический эффект свыше 95 млн. руб. ППП также используется в учебном процессе при проведении практических и лабораторных работ.

Общие выводы по работе

1. Разработана система математических моделей, представляющих собой уравнения с запаздывающим аргументом, позволяющая проводить расчеты параметров точности обработки при проектировании, отладке и диагностике процессов обработки отверстий двухлезвийными КМИ.

2. Установлено, что на увод оси и разбивку отверстия оказывают влияние разные зоны припуска, образуемые разделением аго на режущих лезвиях инструмента на две части. Положение точки деления припуска на режущих лезвиях, зависящее от соотношения подачи и диссипетрии инструмента, является основным критерием выбора математических моделей расчета точности обработки отверстий.

3. Проведенные компьютерные исследования разработанных математических моделей позволили вскрыть основные причины возникновения погрешностей обработки и провести количественный пофакторный анализ

различных механизмов их образования. Так, например, установлено, что при сверлении отверстий увод оси до 90% от общего увода определяется механизмом накопления вибрационного смещения от осевых вибраций шпинделя станка. Причем максимальная интенсивность увода наблюдается при достаточно большей по сравнению с осевым сдвигом режущих лезвий величины подачи. В этом случае с увеличением подачи увод уменьшается. Значительно меньшая интенсивность увода наблюдается когда поверхности резания взаимно пересекаются, при этом снижение подачи уменьшает увод оси отверстия. Достоверный количественный анализ причин погрешностей обработки позволяет наметить пути и методы их устранения.

4. Разработаны рекомендации по назначению численных параметров средств технологического оснащения операций обработки отверстий. Так, например, снижение амплитуды осевых биений шпинделя станка на 50% примерно на столько же уменьшает увод оси отверстия.

5. Разработана система компьютерной диагностики и отладки процессов обработки отверстий, реализованная в виде ППП, включающая:

- расчет увода оси от факторов технологической наследственности, систематического увода от осевых вибраций шпинделя и нахождение суммарного увода от всех факторов;

- расчет разбивки отверстия, вызванной отклонениями от симметрии режущей части инструмента;

- расчет погрешности поперечной формы отверстий разложенной по оставляющим ряда Фурье от факторов технологической наследственности и вибрационного смещения, и нахождение суммарного отклонения от круглости.

- выбор рекомендаций по назначению основных параметров ТС.

6. Использование ППП в качестве подсистемы САПР ТП, или как автономной расчетно-диагностической системы позволяет на 70-80% сократить затраты на этапе натурной отладки ТПП, и за счет повышения точности обработки сократить планы обработки на 1-2 перехода.

7. Выполнена отладка и диагностика реальных процессов обработки отверстий при ТПП ряда деталей, реализованы ППП для использования их в качестве подсистемы САПР ТП и в автономном режиме П/О "БУЛАТ"

г. Златоуст, П/О "ЗМЗ", П/О "Уралтрак", в результате чего получен экономический эффект свыше 95 млн. руб. Результаты работы применяются в учебном процессе при подготовки инженеров-механиков по специальностям 1201 и 2102.

- Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.
1. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М., Дерябин И.П. Концептуальное моделирование точности обработки деталей в САПР ТП // Применение САПР в машиностроении: Тез. докл. научно-технической конференции, - Екатеринбург: УИИ, 1989. - С. 14.
 2. Лакирев С.Г., Дерябин И.П., Заскалина Е.Н. и др. Выбор маршрута и технологической оснастки для обработки отверстий в САПР ТП // Проблемы автоматизации технологических процессов в машиностроении: Тез. докл. межреспубликанской научно-технической конференции. - Волгоград: ВПИ, 1989 - С. 187.
 3. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М., Дерябин И.П. Математическое моделирование технологических операций в САПР: Учебное пособие. - Челябинск: ЧГТУ, 1990. - Ч. I. - 81 с.
 4. Лакирев С.Г., Дерябин И.П., Заскалина Е.Н. Моделирование технологического оснащения операций обработки отверстий // САПР конструкторской и технологической подготовки автоматизированного производства в машиностроении: Тез. докл. республиканской научно-практической конференции. - Харьков: ХПИ, 1990 - С. 75.
 5. Лакирев С.Г., Дерябин И.П. и др. Выбор рационального маршрута обработки отверстий в САПР ТП // Итоги, проблемы и перспективы комплексно-автоматизированных производств в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции. - Нижний Новгород, 1990. - С. III.
 6. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М., Дерябин И.П. и др. Математическое моделирование точности механической обработки деталей в курсе САПР ТП // Математическое моделирование в машиностроении. Общие вопросы: Тез. докл. Первой Всесоюзной школы-конференции. - Самара: КАИ, 1990. - С. 41.
 7. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М., Дерябин И.П., Козлов А.В. Математическое моделирование технологических операций в САПР: Учебное пособие. - Челябинск: ЧГТУ, 1993. - Ч. 2. - 99 с.
 8. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М., Дерябин И.П. Исследование точности обработки отверстий методом компьютерного моделирования // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. - Челябинск: ЧГТУ, 1993. - С. 16-21.
 9. Хилькевич Я.М., Дерябин И.П., Козлов А.В. Учебно-исследовательские работы по курсу "Основы математического моделирования":

Учебное пособие. - Челябинск: ЧГТУ, 1994. - 20 с.

10. Лакирев С.Г., Хялькевич Я.М., Дерябин И.П. Моделирование процесса формообразования при проектировании и технологическом оснащении планов обработки отверстий // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. - Челябинск: ЧГТУ, 1995. - С. 134-140.

11. Лакирев С.Г., Хялькевич Я.М., Дерябин И.П. Компьютерные методики прогноза и устранения точностных отказов при обработке отверстий мерными инструментами // Технологические проблемы производства летательных аппаратов и двигателей: Тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции. - Казань: ИГТУ им. Туполева А.П., 1995. - С. 18-19.

С.Г.

Издательство Челябинского
государственного технического университета

ЛР № 020364 от 20.01.92. Подписано в печать 13.05.96. Формат
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл.печ. л.1,16. Уч.-изд.л. 1,00.
Тираж 100 экз. Заказ 112/235.

УОП издательства. 454080, г.Челябинск, пр. им.В.И.Ленина, 76.