

M237903

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

На правах рукописи

ШЕМЕТОВ Михаил Григорьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ
И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ
СВЕРЛЕНИЕМ НА СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ
ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

(05.02.08—Технология машиностроения)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Научный руководитель —

кандидат технических наук, доцент Н. М. Капустин.

Официальные оппоненты —

доктор технических наук, профессор А. А. Мизери,
кандидат технических наук, доцент Б. Д. Даниленко.

Ведущее предприятие — указано в решении Ученого Совета.

Автореферат разослан « » 1974 г.

Защита диссертации состоится « » 1974 г.
на заседании Совета факультета «Автоматизация и механизация производства» МВТУ им. Н. Э. Баумана по адресу:
Москва, 107005, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экз. просим выслать по указанию

С диссертацией
лица.

Ученый секретарь
канд. техн. на

M 237903

Решения Партии и Правительства нашей страны направлены на всемерное развитие машиностроения. Рост продукции машиностроения неразрывно связан с совершенствованием структуры станочного парка. В условиях серийного и мелкосерийного производства повышение производительности труда и снижение трудовых затрат определяются уровнем его автоматизации, связанным с эффективным использованием станков с числовым программным управлением (СЧПУ).

Сверление является одним из самых распространенных методов механической обработки, так как наибольший удельный вес в общем количестве используемого режущего инструмента занимают сверла. Ежегодная потребность машиностроения в стандартных спиральных сверлах составляет до 25% по стоимости и 30% по объему, а на долю операций сверления во многих ведущих отраслях промышленности приходится 40-50% всего объема металлообработки. Более 50% сверлильных операций являются окончательными. Возникающие в процессе обработки погрешности (увод, начатое смещение, разбивка) влияют на точность междоосевых расстояний системы отверстий и качество последующих чистовых операций или переходов.

Эффективное использование станков с ЧПУ во многом зависит от качества и сроков подготовки управляющих программ, технологическая основа которых является определяющей при обеспечении требуемого качества обрабатываемых изделий и производительности обработки. Увеличивается ответственность технолога за качество спроектированного технологического процесса, так как поиск ошибок и внесение исправлений в программу в 1,5-2 раза увеличивают трудоемкость ее подготовки. Значительная стоимость станков с ЧПУ и высокая трудоемкость подготовки программ заставляет особенно внимательно подходить к решению вопросов рационального выбора маршрута обработки, подбора режущего инструмента, назначения режимов резания. Основные трудности выбора оптимального технологического процесса обработки, обеспечивающего заданную точность при максимальной производительности, заключается в отсутствии количественных связей между параметрами, характеризующими точность, производительность и экономичность обработки, и факторами, влияющими на их величину, а также в сложности самих расчетов. Достаточно высокую эффективность от применения станков с ЧПУ удается получить лишь при квалифицированном и научно-обоснованном решении перечисленных задач.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1237903

Шеметов М.Г. Исследование

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ дан обзор литературных и производственных исследований по точности обработки отверстий сверлением, отражены современные тенденции развития станков с ЧПУ и область их применения, проанализированы вопросы использования ЭВМ для проектирования технологических процессов обработки деталей резанием. Намечены основные этапы работы, связанные с установлением классификации и выявлением доминирующих погрешностей технологического процесса, установлением аналитических зависимостей по основным составляющим точности обработки и решением задачи по выбору оптимального варианта, обеспечивающего заданную точность при максимальной производительности с применением вычислительной техники и методов математического моделирования.

Установлено, что основными факторами, влияющими на точность обработки отверстий сверлением на станках с ЧПУ являются: геометрическая точность станка, точность программирования и воспроизведения программы, точность геометрических и конструктивных параметров заточки и изготовления инструмента, метод получения заготовки и способ ее установки. На точность межцентровых расстояний (МЦР) существенное влияние оказывает точность позиционирования станка. По общему мнению источником большей части погрешностей разбивки и МЦР является в первую очередь инструмент — сверло, и лишь затем станок. Станки с ЧПУ обладают более широкими технологическими возможностями за счет наличия координатных перемещений рабочих органов станка, что позволяет производить сверление по заданным координатам без разметки и применения кондукторов, а также позволяет вести обработку с перехватом закрепления заготовки. В связи с этим, возникли определенные трудности в получении заданной точности МЦР при сверлении отверстий без направления инструмента. Погрешность МЦР находится в пределах $\pm 0,05-0,5$ мм, причем, около 80% этих операций выполняется с погрешностью $\pm 0,1-0,2$ мм. Проведенные производственные исследования по точности обработки отверстий в корпусных деталях из чугуна и алюминия на обрабатывающих центрах "Бурхард Вебер", "Оливетти", АНРС-1 показали, что до 30% обработанных отверстий не удовлетворяют допуску на разбивку отверстия и увод его оси, а также допуску на МЦР. Размах распределения уводов оси отверстия колеблется в пределах $0,05-0,1$ мм на 100 мм длины и значительно превышает допускаемые значения. Анализ этих исследований показал, что разбивка отверстий под-

чиняется нормальному закону распределения, а погрешность увода и МЦР- закону Релея (закон э.эцентриситета).

Точность МЦР при сверлении на станках с ЧПУ определяется:

$$\Delta_{\text{мцр чпу}} = \sqrt{\Delta^2 C_0 + \Delta^2 y + \Delta^2_{\text{поз}} + \Delta^2_{\text{пер.закр}} + \Delta^2 \varepsilon_0 + \Delta^2_{\text{зац}}},$$

где: ΔC_0 - погрешность начального смещения, мм; Δy - погрешность увода оси отверстия, мм; $\Delta_{\text{поз}}$ - погрешность позиционирования, мм; $\Delta_{\text{пер.закр.}}$ - погрешность перехвата закрепления, мм; $\Delta \varepsilon_0$ - погрешность установки заготовки относительно нулевой точки, мм; $\Delta_{\text{зац}}$ - погрешность зацентровки.

В результате проведенных производственных исследований составлен усредненный баланс погрешности МЦР в зависимости от погрешности начального смещения, увода оси и погрешности позиционирования при обработке как с направлением инструмента, так и без его направления на универсальных станках и станках с ЧПУ. Установлено, что основное внимание при сверлении на станках с ЧПУ должно быть обращено на причины возникновения увода оси инструмента от технологических параметров процесса обработки.

Проведенный анализ работ по применению ЭВМ для проектирования технологических процессов обработки деталей резанием показал, что в основу определения режимов резания положены существующие нормативы или статистические производственные данные. Имеющиеся методики расчета и математические модели не учитывают специфики обработки на станках с ЧПУ.

Поэтому, диссертация имеет целью установить факторы и определить закономерности, влияющие на повышение точности и производительности при сверлении на станках с ЧПУ.

Для осуществления поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести аналитическое и экспериментальное исследование погрешностей обработки и их влияние на точность МЦР;
- определить возможности и условия обработки отверстий сверлением как по предварительно обработанной поверхности, так и по необработанной поверхности с перехватом закрепления и без перехвата закрепления заготовки;
- провести экспериментальное исследование производительности обработки отверстий сверлением на станках с ЧПУ и установить ее взаимосвязь с достигнутой точностью МЦР;
- разработать методику выбора оптимальной последовательности

ти обработки и системы отверстий с учетом технологических возможностей станков с ЧПУ типа "обрабатывающий центр";

-разработать методику определения оптимальных условия обработки отверстий путем математического моделирования;

-проверить соответствие результатов математического моделирования условиям реальной обработки в лабораторных и производственных условиях;

-провести технико-экономический анализ эффективности результатов исследования.

Основой настоящих исследований является расчетно-аналитический метод исследований точности, базирующийся на знании функциональных зависимостей, наиболее полно отображающих ход технологического процесса и его закономерности. Используется также теория производительности рабочих машин и теория исследования операций. Указанные научные теории отражают закономерности, присущие станочной операции, и делают возможным применение метода математического моделирования, позволяющего производить оптимизацию параметров технологических процессов.

Экспериментальные и производственные исследования были выполнены на обычных станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах на Электростальском заводе тяжелого машиностроения (ЭЗТМ), автозаводе имени Лихачева (ЗИЛ), а также в лаборатории кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ имени Н.Э.Баумана. Объектом исследования являлась обработка систем отверстий в корпусных деталях и панелях с погрешностью МДР $\pm 0,1-0,2$ мм. Одновременно исследовалась точность выполнения диаметральных размеров - разбивка отверстия. Это было вызвано необходимостью получения достоверной информации при разработке математической модели нахождения оптимальных условий обработки отверстий сверлением.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ проведен анализ работ, посвященных исследованию разбивки отверстия и увода его оси. Анализ показал, что среди исследователей нет единого подхода к количественной оценке этих величин, так как во многих имеющихся зависимостях не учтены конструктивные параметры инструмента, глубина сверления и динамика процесса резания. В некоторых работах наблюдается большое расхождение между величиной теоретического расчета увода и

его фактическим значением. Большинство расчетов выполнено применительно к сверлению по кондукторам.

Во время обработки спиральное сверло подвергается действию крутящего момента и осевой силы. В результате геометрических погрешностей параметров заточки инструмента возникает значительная неуравновешенная радиальная сила, которая вызывает разбивку отверстия и увод его оси в процессе обработки. Повышенный увод возникает, если обрабатываемая плоскость со стороны входа сверла перпендикулярна оси инструмента, что возможно при переза-креплении заготовки.

Для определения ожидаемых погрешностей в процессе обработки принята следующая расчетная схема: спиральное сверло рассматривается как балка с жесткой заделкой в верхней части, а нижняя, шарнирно опирающаяся на каток часть, нагружена сосредоточенными силами. В результате проведенного аналитического расчета получены зависимости для определения разбивки отверстия:

$$\Delta D = \frac{2 R_0 l^2 \psi (e^{h \delta \sin \delta} - 1)^{-1} - (C_0 + \beta_0^* l)}{3 E J_x (1 - \frac{t \delta}{2})}$$

и увода его оси

$$y = [C_0 + l (\beta_0 + \beta_0^*)] (e^{h \delta \sin \delta} - 1),$$

где: R_0 — осевая сила, кг; l — вылет инструмента, мм; h — глубина сверления, мм; J_x — момент инерции сверла, мм⁴; E — модуль упругости материала сверла, кг/мм²; β_0 — динамический увод, получаемый в процессе обработки и учитывающий динамику процесса резания; β_0^* — дополнительный увод, обусловленный неперпендикулярностью изделия оси инструмента;

$$R_{\text{кр}} = K \frac{E J_{\min} J_{\max}}{l^2 (J_{\max} + J_{\min})}; \quad \psi = \frac{R_0}{R_{\text{кр}}}; \quad \beta_0 = \frac{1}{6} (1 - \frac{t}{6}); \quad \beta_0^* = \frac{\beta_0}{6} \frac{1 - t^2}{2t}; \quad \delta = 449 \sqrt{\frac{R_0}{E J_{\text{кр}}}}; \quad t = t_0 \sqrt{\frac{R_0}{R_{\text{кр}}}};$$

$R_{\text{у}}$ — результирующая радиальных сил, кг; $R_{\text{кр}}$ — критическая сила, допускаемая продольной устойчивостью сверла, кг; β_0 — величина угла неперпендикулярности; K — коэффициент, характеризующий способ крепления сверла.

Полученные зависимости позволяют на стадии проектирования оптимальных условий построения сверлильной операции включать их в математическую модель процесса в качестве технологических ограничений по разбивке отверстия и уводу его оси.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ приведены результаты экспериментальных исследований влияния технологических факторов процесса сверления на точность обработки отверстий.

В экспериментальных исследованиях использовались сверла точного исполнения $\varnothing 6, 8, 14, 16, 18$ и 20 мм с цилиндрическими и коническими хвостовиками короткой, средней и длинной серии. Сверла общего назначения использовались только для сравнительного анализа. Контроль геометрических параметров инструмента осуществлялся на универсальном измерительном микроскопе УИМ-21. К работе принимались сверла, соответствующие техническим требованиям по ГОСТ 2034-64.

Для определения влияния геометрических и конструктивных параметров инструмента, технологических параметров процесса обработки на точность отверстий при сверлении спиральными сверлами была создана экспериментальная установка, состоящая из динамометра для измерения крутящего момента, осевой и радиальной силы; прибора, позволяющего фиксировать начальное смещение инструмента в момент врезания; счетчика чисел оборотов. Точность расположения системы отверстий, а также разбивка и увод оси отверстия измерялись специально сконструированными приборами, а также прибором с ЧПУ "Инспектор" фирмы "Оливетти".

Проведен анализ методов заточки спиральных сверл и их влияния на точность обработки.

Процесс сверления всегда сопровождается появлением радиальной силы. Проведенные нами экспериментальные исследования показали, что радиальная сила F_y состоит из постоянной F'_y и вращающейся F''_y радиальных сил, которые вызывают разбивку отверстия и увод его оси. Природа их возникновения и влияния на технологические параметры процесса обработки различна. Как вращающаяся, так и постоянная составляющие радиальной силы направлены перпендикулярно оси инструмента. Однако, если вращающаяся составляющая радиальной силы неподвижна относительно инструмента, то постоянная составляющая радиальной силы неподвижна относительно обрабатываемой заготовки. На возникновение вращающейся радиальной силы существенное влияние оказывают погрешности геометрических параметров заточки инструмента, радиальное биение и скорость резания. С увеличением скорости резания в результате повышенной температуры и пластичности металла в зоне резания происходит

перераспределение составляющих усилия резания, что вызывает увеличение R'_y . Основными факторами, способствующими возникновению постоянной радиальной силы R'_y , являются погрешности зацентровки или начального смещения инструмента, неперпендикулярность обрабатываемой плоскости оси инструмента, увеличенный вылет сверла и величина подачи. Причем, как было установлено экспериментально, $R'_y = k \cdot P_0$, где $k = 0,015 \pm 0,024$ и зависит от обрабатываемого материала. Это объясняется тем, что подача мало влияет на характер распределения сил в зоне резания. Увод возрастает с увеличением вылета сверла, так как спиральное сверло, имеющее биение, в процессе сверления отжимается к оси вращения, испытывая при этом изгиб.

Сравнивая результаты экспериментальных исследований по точности обработки отверстия с значениями увода оси отверстия и разбивки, рассчитанных по разработанным аналитическим зависимостям, установлено, что погрешность расчета не превышает 8%.

Проведенные исследования подтвердили также, что точность обработки с использованием сверл точного исполнения уменьшает величину разбивки отверстия и увода его оси, по сравнению с обработкой сверлами общего назначения, на 25-30%.

При одних и тех же параметрах инструмента и режимах резания увод и разбивка отверстий при сверлении алюминия на 15-20 % превышает значения, полученные при обработке чугуна.

При обработке системы отверстий в корпусных деталях с базированием по черной базе с перехватом закрепления возникают дополнительные погрешности, которые оказывают существенное влияние на точность обработки. К этим погрешностям относится смещение заготовки в горизонтальной и наклон в вертикальной плоскостях, в результате разности контактных деформаций в стыках базировочной плоскости заготовки - установочный элемент. Смещение заготовки оказывает влияние на точность взаимного расположения системы отверстий и, зная величину смещения, можно частично ее скомпенсировать изменением положения нулевой точки относительно осей координат. Угол наклона заготовки сильно влияет на увод оси (для сверл малого диаметра) и разбивку в начале отверстия (для сверл диаметром более 12 мм).

Рассмотрено влияние зацентровки на точность обработки отверстий. При сверлении отверстий на шлифованных и необработанных плоскостях без зацентровки отмечено, что наибольшая величина начального смещения была на шлифованных плоскостях и меньше на об-

резцах, полученных литьем в оболочковую форму. Это объясняет - ся тем, что при сверлении необработанных поверхностей инструмент быстрее находит точку соприкосновения с обрабатываемой поверх - ностью.

Существенное влияние на погрешность МЦР оказывает направ - ление силы резания по отношению к силам закрепления. В работе при - ве жены номограммы для определения необходимых усилий закрепления в зависимости от сил резания и необходимой точности МЦР при ба - зировании заготовки на опоры $\varnothing 16$ мм с плоской, рифленой и сфери - ческой поверхностью (ГОСТ 4083-57). Сравнивая результаты экспери - ментальных исследований при "ручном" и механизированном пере за - креплении заготовки, можно сделать вывод, что погрешности обра - ботки при "ручном" пере закреплении на 15-20% больше, чем при меха - низированном перехвате закрепления. Это объясняется нестабиль - ностью зажимных усилий при "ручном" закреплении.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ посвящена построению оптимальных условий обработки отверстий сверлением на станках с ЧПУ.

Решение задачи оптимального построения обработки отверс - тий на станках с ЧПУ сверлением состоит из двух этапов: постро - ния математической модели технологического процесса с выявлени - ем ограничений, влияющих на процесс и исследование математической модели с целью определения экстремума целевой функции.

В качестве критерия, характеризующего целевую функцию, при - нята максимальная производительность. Этот критерий является на - более объективным при использовании такого оборудования, каким являются станки с ЧПУ, так как только работа на режимах, обеспе - чивающих получение максимальной производительности, может гаран - тировать выполнение операции, характеризующейся низкой себесто - имостью. Для исследования данного критерия в производственных ус - ловиях была использована теория производительности рабочих ма - шин, предложенная и разработанная проф. Шаумяном Г.А. Анализ про - изводительности в производственных условиях позволяет определить эксплуатационные характеристики станка и количественную оценку целевой функции. Повышение производительности может быть достиг - нуте за счет сокращения основного времени путем оптимизации ре - жимов резания и уменьшения вспомогательного времени за счет оп - тимизации последовательности обработки системы отверстий.

Процесс резания допускает варьирование режимов обработки, а вместе с тем и его длительность в довольно широких пределах. При варьировании скорости резания изменяется как время рабочих ходов, так и стойкость инструмента, входящая во внецикловые потери. Интенсификация режимов является важнейшим фактором повышения производительности обработки. Влияние интенсификации режимов обработки на внецикловые потери по инструменту и оборудованию можно определить экспериментально, поэтому достоверность рекомендуемых режимов зависит, в первую очередь, от имеющегося объема исследований производительности в конкретных производственных условиях. Такие исследования позволили найти резервы повышения производительности. Анализ производительности включал в себя фактические наблюдения и измерения, математическую обработку результатов, составление баланса производительности.

В работе приведен баланс производительности и анализ внецикловых потерь. Кроме того, проведен подробный анализ изменения производительности от скорости резания и подачи, сокращения времени холостых ходов и времени смены инструмента. В результате получена формула для определения количественной оценки целевой функции

$$Q = \frac{K}{kt_x + k(\sum C_i \cdot t_i) + 1} = \frac{n_i S_i}{h_{pm} + n_i S_i (t_x + t_i) + S_i M \frac{M_{max}}{M_0} \left(\frac{n_i}{n_0}\right)^m},$$

где: t_x — потери на холостые хода; $\sum C_i$ — потери по инструменту; t_i — внецикловые потери; h_{pm} — глубина сверления; M — количество обрабатываемых отверстий.

Установлено, что станки с ЧПУ необходимо эксплуатировать на режимах, обеспечивающих обработку с максимальной производительностью.

Задачу нахождения оптимальной последовательности обработки системы отверстий в корпусных деталях можно сформулировать следующим образом: имеем систему отверстий разных диаметров в K плоскостях, расстояние между любыми двумя отверстиями на плоскости (или их расстояние от нулевой точки) известно. Надо выбрать самый кратчайший маршрут, проходящий только один раз через каждое отверстие. Решение задачи оптимизации последовательности обхода системы отверстий многовариантно, так как оно должно учитывать конструктивные особенности и компоновку станка, наличие автоматической смены инструмента, технологические особенности

корпусной детали и характер расположения отверстий, скорость перемещения стола и шпинделя, точность позиционирования, время поворота стола и время смены инструмента, время смены спутника и возможности обработки с перехватом закрепления заготовки.

Цикловые потери, связанные с перемещением и сменой инструмента, будут различны.

При последовательной обработке отверстий каждой группы в одной плоскости необходимо после обработки всех групп отверстий произвести поворот стола и начать обработку отверстий в следующей плоскости, причем, желательно, чтобы обработка начиналась тем инструментом, которым обрабатывались последние отверстия на предыдущей плоскости. Тогда

$$t_{\lambda} = \sum_{n=1}^{n+K} \left(\frac{2\ell_2 \pm \delta_2}{V_{\text{блм}}} + \frac{\delta_1 - \delta_2}{V_{\text{блм}}} + \frac{\delta_2}{V_{\text{блм}}} + t_{\text{см}} \right) (J_{\lambda} - 1) + \sum_{\alpha=1}^{n+K+J} m_{\alpha} \left[\frac{(2\ell_{\alpha} \cdot \ell_{\alpha\lambda}) \pm \delta_1}{V_{\text{блм}}} + \frac{\delta_1 - \delta_2}{V_{\text{блм}}} + \frac{\delta_2}{V_{\text{блм}}} + \frac{A_{\text{поэ}} \pm \Delta_1}{V_{\text{поэ}}} + \frac{A_1 - \Delta_2}{V_{\text{поэ}}} + \frac{A_2}{V_{\text{поэ}}} \right] + \sum_{i=1}^{i+K} t_{\text{пз}} + \sum_{\alpha=1}^{n+K} t_{\text{мс}} + t_{\text{ссп}}$$

Если производить обработку отверстий одного диаметра по всем плоскостям, а затем после смены инструмента снова вести последовательную обработку отверстий данного диаметра по всем плоскостям, то

$$t_{\lambda} = \left(\frac{2\ell_2 \pm \delta_1}{V_{\text{блм}}} + \frac{\delta_1 - \delta_2}{V_{\text{блм}}} + \frac{\delta_2}{V_{\text{блм}}} + t_{\text{см}} \right) (J_{\lambda} - 1) + \sum_{\alpha=1}^{i+K} m_{\alpha} \left[\frac{(2\ell_{\alpha} \cdot \ell_{\alpha\lambda}) \pm \delta_1}{V_{\text{блм}}} + \frac{\delta_1 - \delta_2}{V_{\text{блм}}} + \frac{\delta_2}{V_{\text{блм}}} + \frac{A_{\text{поэ}} \pm \Delta_1}{V_{\text{поэ}}} + \frac{A_1 - \Delta_2}{V_{\text{поэ}}} + \frac{A_2}{V_{\text{поэ}}} \right] + (J_{\lambda} - 1) \sum_{\alpha=1}^{n+K} t_{\text{мс}} + \sum_{i=1}^{i+K} t_{\text{пз}} + t_{\text{ссп}},$$

где: m — количество отверстий в одной группе; i — индекс группы отверстия данного диаметра; $t_{\text{пз}}$, $t_{\text{ссп}}$, $t_{\text{мс}}$, $t_{\text{см}}$ — время перехвата закрепления, смены спутника, поворота стола, переустановки инструмента в шпинделе; $V_{\text{поэ}}$, $V_{\text{поэ}}^{\text{блм}}$, $V_{\text{поэ}}^{\text{блм}}$ — скорость быстрого, первого и второго замедленного перемещения стола, шпинделя; K — количество обрабатываемых плоскостей; J — количество групп отверстий; f — количество перехватов закрепления; A — величина набираемой координаты; Δ_1 , Δ_2 , δ_1 , δ_2 — путь первого и второго замедленного перемещения стола, шпинделя; ℓ_1 , ℓ_2 , $\ell_{\alpha\lambda}$, $\ell_{\text{поэ}}$ — соответственно длина от обрабатываемой детали до зоны позиционирования, от зоны позиционирования до зоны смены инструмента, длина холостых ходов.

Для реализации данного метода была разработана математическая модель с использованием метода "ветвей и границ" алгоритм и программа для ЭВМ "Минск-32", для нахождения оптимальной последовательности обхода при обработке системы отверстий. Программа предусматривает работу технологических ограничений в процессе счета, анализируя выбираемый маршрут на каждом шаге. Маршруты,

рассчитанные по разработанной программе, сокращают вспомогательное время на 14-17%.

Исследование статистических данных причин ошибок программ для станков с ЧПУ показало, что около 50% ошибок вызваны неправильным назначением режимов резания, так как после обработки и контроля пробной детали приходится вносить изменения режимов, что влечет за собой и повторную запись на программноноситель. В связи с этим, основное направление при оптимизации технологических параметров операции сверления связано с комплексным исследованием процесса с целью описания его закономерностей и разработки научно-обоснованных методов расчета с применением теории исследования операций.

Разработана математическая модель оптимальных условий обработки отверстий сверлением, состоящая из совокупности уравнений и неравенств, которые являются технологическими ограничениями по стойкости, жесткости и прочности инструмента, по величине разбивки отверстия и углу его оси, по допуску на МЦР, по кинематике станка. В качестве целевой функции принята максимальная производительность. При разработке математической модели были использованы ранее разработанные зависимости по стойкости инструмента, а также частично нами уточненные зависимости по жесткости и прочности сверла. Остальные зависимости были разработаны нами в ходе выполнения данной работы.

Работа программы по определению оптимальных условий обработки отверстий сверлением, реализованная на ЭВМ "Минск-32", включает расчет режимов резания, производительности и количества отверстий, которые могут быть обработаны за данный период стойкости. Программа состоит из двух основных частей и предусматривает расчет режимов резания как по имеющимся нормативным данным, так и по математической модели, характеризующей данный процесс.

Данная задача решена методом регулярного поиска, суть которого состояла в следующем: берутся сочетания режимов n и S вдоль границ ограничений и рассчитывается производительность, которая заносится в массив Q . Затем из массива выбирается $Q_{\max}$ с соответствующими режимами n и S .

Разработанные программы могут быть включены в существующую на заводе информационно-поисковую систему (ИПС). Сущность работы данных программ в системе ИПС состоит в следующем: по блан-

ку исходных данных кодируется исходная информация для маршрута обработки и для расчета режимов резания. Маршрут обработки рассчитывается по разработанной программе, а по заданным технологическим параметрам идет выбор режимов резания в блоке хранения режимов ИПС. Если в блоке этих режимов нет, то по разработанной программе рассчитываются необходимые режимы обработки. При проведении новых экспериментальных исследований эти данные вводятся в машину и обрабатываются методом полного факторного эксперимента, дополняя необходимыми коэффициентами блоки постоянной информации. Расчетные данные поступают в блок формирования, где составляется управляющая программа.

Учитывая то, что математическая модель обязательно является некоторым приближенным отображением реального процесса, проверка ее адекватности реальному процессу обработки является заключительным этапом и необходимым звеном в общем процессе моделирования технологического процесса. Статистический анализ полученной модели проводится на основании следующей гипотезы: отклонение экспериментальных значений от расчетных должно быть минимальным и незначительно отличаться от погрешности измерения. Для оценки адекватности использовался F -критерий Фишера. В результате проверки подтверждена адекватность математической модели реальному процессу обработки отверстий на станках с ЧПУ.

В ПЯТОМ ГЛАВЕ приведена технико-экономическая эффективность результатов исследований, основанная на сравнении затрат времени и стоимости при нормировании "вручную" и с помощью ЭВМ, определении сроков окупаемости затрат на разработку алгоритмов и программ, на сравнении качества режимов, рассчитанных "вручную" и с помощью ЭВМ. В качестве критерия был принят показатель наименьших приведенных затрат, как наиболее полно учитывающий все параметры расчета.

При переводе на ЭВМ расчета режимов резания для 1000 переходов в год экономия приведенных затрат составляет 2200 рублей.

Результаты данной работы используются на Электростальском заводе тяжелого машиностроения (ЭЗТМ), автомобильном заводе имени Лихачева (ЗИЛ) и на других предприятиях.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. Основными факторами, влияющими на точность МЦР при сверлении отверстий на станках с ЧПУ, являются пространственные отклонения оси отверстия (увод, начальное смещение) и точность позиционирования станка.

2. Аналитические и экспериментальные исследования позволяют выявить зависимость начального смещения и увода оси отверстия от геометрических и конструктивных параметров инструмента, точности взаимного расположения инструмента и детали, режимов резания.

3. При сверлении на станках с ЧПУ необходимо использовать сверла точного исполнения с вышлифованными канавками. Нецентричность сердцевинки не должна превышать для сверл диаметром до 20 мм 0,05 мм, более 20 мм – 0,08 мм; осевое биение сверл диаметром до 20 мм не более 0,05 мм, эксцентricность поперечной кромки для сверл диаметром до 12 мм 0,03 мм, а больше 12 мм – 0,05 мм; предельное отклонение угла при вершине не должно превышать $\pm 0,5^\circ$.

4. Для получения минимального начального смещения при сверлении с зацентровкой необходимо, чтобы угол 2φ центровочного сверла соответствовал текущему же углу спирального сверла.

5. Определено, что при установке заготовки по необработанной поверхности основными факторами, влияющими на погрешность МЦР при сверлении с перехватом закрепления, являются смещение заготовки в горизонтальной и наклон в вертикальной плоскостях в результате разности контактных деформаций на опорах.

6. При сверлении на станках с ЧПУ необходимо использовать сверла с цилиндрическим хвостовиком, который позволяет регулировать инструмент по длине, улучшает условия закрепления при сверлении и базирования при заточке. При использовании сверл с коническим хвостовиком для повышения точности обработки необходимо применять не набор переходных втулок, а одну втулку с необходимым перепадом конусов.

7. Исследование производительности станка с ЧПУ в производственных условиях дает возможность получить количественную оценку целевой функции, которая определяет оптимальный вариант обработки и позволяет при использовании ЭВМ вести поиск этого варианта в конкретных производственных условиях.

8. В результате проведенных исследований разработаны математические модели, алгоритмы и программы для оптимизации после-

довательности обработки системы отверстий и условий построения операции сверления. Статистическая проверка результатов измерений обработанных отверстий на режимах, рассчитанных по разработанной программе, доказала адекватность математической модели реальному процессу.

9. Областью применения разработанных методик является решение технологических задач в условиях действующего производства, а также использование разработанных программ в условиях функционирования информационно-поисковой системы (ИПС) завода. Разработанные методики могут быть применены для обработки на станках с ЧПУ и другими мерными инструментами, а также при автоматизированной подготовке управляющих программ.

10. Результаты настоящих исследований использованы при расчете переходов для операции сверления и нахождения последовательности обработки отверстий в панелях и корпусных деталях на автомобильном заводе имени Лихачева, Электростальском заводе тяжелого машиностроения и на других предприятиях. Экономическая эффективность при расчете 1000 переходов в год составляет 2200 рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Капустин Н.М., Шеметов М.Г. Обработке отверстий на многоцелевых станках с программным управлением. В сб. "Исследование конструкции и технологии производства и ремонта машин и механизмов лесной промышленности", труды АЛТИ, XXXV, Архангельск, 1972.

2. Васильев В.Н., Шеметов М.Г. Исследование возможности обработки корпусных деталей с перехватом закрепления. "Изв. высш. учебн. заведений. Машиностроение", №1, 1973.

3. Васильев В.Н., Шеметов М.Г. Экспериментальное определение усилия закрепления заготовки. "Изв. высш. учебн. заведений. Машиностроение", №5, 1973.

4. Гайгал И.В., Шеметов М.Г. Построение оптимальной операции обработки отверстий на многоцелевых станках. В сб. "Интенсификация процессов механической обработки путем применения станков с программным управлением и обрабатывающих центров", Тезисы республиканской конференции, выпуск I, Киев, 1972.